
Д. И. Тюмкова

ЛОКАЛИЗАЦИЯ НЕПОДВИЖНОГО ЗВУКА ДЕТЬМИ ОТ ПОЛУГОДА ДО ПОЛУТОРА ЛЕТ

В статье представлены результаты изучения локализации неподвижного звука в горизонтальной плоскости в условиях свободного звукового поля детьми от полугода до полутора лет. Описаны три периода локализации, имеющие собственные специфические параметры, которые необходимо учитывать при проведении исследований пространственного слуха у детей.

Ключевые слова: локализации неподвижного звука, пространственный слух, исследование.

D. Tiunkova

LOCALIZATION OF MOTIONLESS SOUNDS BY CHILDREN AGED FROM 6 TO 18 MONTHS

The article presents the results of unmoving sound localization in the horizontal plane in a free sound field of children from six months to a year and a half. Described three periods of sound localization, has their own specific parameters. These periods should be considered in studies of spatial hearing in children.

Keywords: localization of motionless sounds, spatial hearing, research.

В литературе представлено ограниченное число работ, посвященных изучению пространственного слуха у детей [1, 2, 3, 4, 5 и др.], в частности, локализации неподвижного звукового стимула в горизонтальной плоскости в условиях свободного звукового поля детьми младенческого и раннего возраста [6, 7, 8, 9, 10, 11 и др.]. В подавляющем большинстве данных исследований оценка локализации звука производилась в результате анализа устных отчетов испытуемых и их указательных движений в направлении определяемого ими источника звука [1, 2, 3, 4 и др.] либо в ходе анализа видеозаписей с поворотом головы ребенка в ответ на предъявление звука [9, 11 и др.]. Описанные методы регистрации не позволяют составить представление о процессе локализации в целом и детально его проанализировать. Одной из задач нашего исследования стало изучение процесса локализации звука детьми от полугода до полутора лет на предмет наличия в нем периодов локализации звука, имею-

щих собственные специфические параметры, которые необходимо учитывать при проведении экспериментального изучения пространственного слуха у детей.

В исследовании приняли участие 40 детей (22 мальчика, 18 девочек) в возрасте от 5 месяцев 26 дней до 18 месяцев 28 дней, а также их матери. Средний возраст детей всей выборки составил $11,9 \pm 3,6$ месяца. Все принявшие участие в исследовании дети были доношенными, со сроком гестации выше 37 недель (среднее значение срока гестации в группе — $39,2 \pm 1,8$ недели). Средний возраст матерей, принявших участие в обследовании вместе со своими детьми, составил $29 \pm 4,2$ года. К исследованию допускались дети, не имеющие нарушений слуха и других серьезных диагностированных заболеваний, прошедшие плановые медицинские обследования.

Эксперименты проводились в лаборатории группы физиологии слуха Института физиологии им. И. П. Павлова РАН, в звукоизолированной анэхоидной (безэховой)

камере размером $3 \times 3 \times 4,5$ м³. В центре камеры находилась полукружная поворотная дуга радиусом 1 м, по длине которой на равном расстоянии друг от друга располагались 49 динамиков (Visaton, Германия) с идентичными частотными характеристиками. Дуга устанавливалась в горизонтальном положении, при котором угол предъявления звука изменялся по азимуту.

Мама с ребенком находились в кресле, расположенном в центре дуги. Ребенок сидел на коленях у матери в вертикальном положении лицом к дуге. В спокойном состоянии его голова находилась на уровне дуги, лицо было обращено в сторону центрального динамика (0°), правое ухо находилось напротив правого крайнего динамика дуги (+90°), левое ухо — напротив крайнего левого динамика (-90°). Для фиксации положения ребенка мама придерживала его тело обеими руками. Экспериментатор давал матерям инструкцию наблюдать за ребенком и по возможности не взаимодействовать с ним.

Звуковыми сигналами служили серии коротких щелчков (100 мкс) с периодом следования 20 мс и интенсивностью 65 дБ. Длительность серии щелчков составляла 1 с. Звуковые сигналы подавались в случайном порядке от 5 разных динамиков, которые располагались под углами 0° (прямо против ребенка), 30° и 60° справа и слева от ребенка в горизонтальной плоскости. По ходу звуковой стимуляции сигнал с каждого из 5 динамиков подавался дважды. Общее количество предъявлений сигнала с разных динамиков составляло 10 для каждого испытуемого. Выбор сигнала и его предъявление осуществлялись экспериментатором, находящимся в соседней комнате, с помощью специально разработанной компьютерной программы. Каждый следующий сигнал подавался по готовности ребенка к дальнейшей локализации. Интервал между предъявлениями составлял в среднем 5–10 с.

Для регистрации поворотов головы на голову ребенка надевался чепчик, к кото-

рому крепился миниатюрный датчик регистратора Fastrak (Pollhemus). Устройство Fastrak использовалось для измерения угловой траектории движения головы ребенка в горизонтальной плоскости (по азимуту). Длительность регистрации составляла 3,5 с. Регистрация начиналась за 0,5 с до подачи звукового стимула и заканчивалась спустя 2 с после выключения звука. В ходе всего эксперимента велась съемка с двух видеокамер: прямо напротив ребенка (Sony) и над его головой (Panasonic).

Количественный анализ проводился по данным о поворотах головы ребенка, полученным с помощью регистратора Fastrak. Видеозапись использовалась в качестве вспомогательного материала при анализе спорных и неоднозначных случаев. С выхода регистратора сигнал в цифровом виде поступал на вход компьютера с частотой 120 Гц. С помощью специально разработанной программы данные регистрации выводились на экран компьютера в графическом виде и записывались на жесткий диск. По цифровым отсчетам (с шагом 8,3 мс) строился график траектории движения головы ребенка и производился анализ пространственно-временных характеристик ориентировочной реакции (рис. 1).

На рисунке 1 представлен пример траектории движения головы испытуемого в ходе локализации сигнала, предъявляемого по центру полукружной дуги (0°). По результатам анализа данных графических изображений для всех испытуемых было выделено три периода локализации.

- Латентный период локализации. Наблюдается в 100% представленных случаев, характеризуется отсутствием движения головы либо продолжением начатого до подачи сигнала движения (на рисунке 1 соответствует участку графика между точками 1 и 2). В данном опыте в качестве основной характеристики латентного периода выступила его длительность, определяемая разницей между временем начала реакции и подачей сигнала.

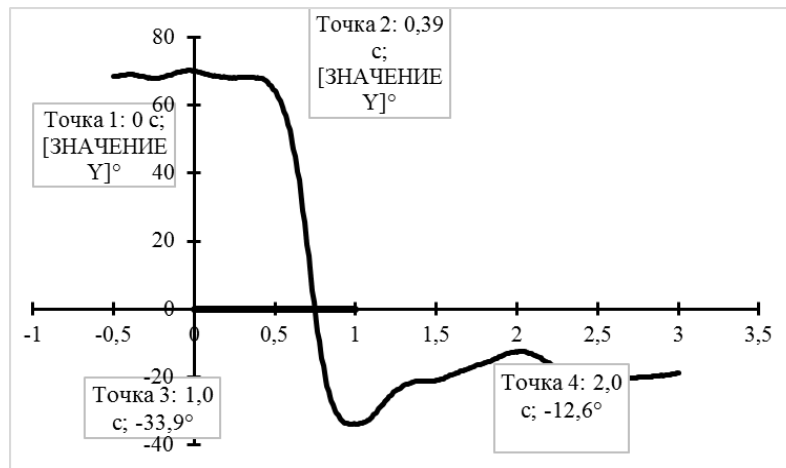


Рис. 1. Траектория движения головы ребенка при предъявлении звукового сигнала

По оси абсцисс — время предъявления сигнала, в секундах; по оси ординат — угловое положение головы, в градусах. Время и место (0°) предъявления сигнала на графике обозначено на оси абсцисс жирной линией между 0 с и 1 с. Точка 1 — начальное положение головы испытуемого на момент подачи сигнала. Точка 2 — точка окончания латентного периода реакции. Точка 3 — окончание первого локализационного движения. Точка 4 — точка максимального приближения головы испытуемого к месту предъявления сигнала в период корректирующего движения

- Период первого локализационного движения наблюдается в 100% представленных случаях, характеризуется непрерывным движением головы ребенка в сторону источника звука либо в противоположную ему сторону (на рисунке 1 соответствует участку графика между точками 2 и 3). Период первого локализационного движения характеризуется длительностью (определяется через разницу времени окончания первого движения и времени окончания латентного периода) и направлением (в сторону источника звука — 91% и от него — 9%). В результате совершения первого локализационного движения наблюдается первичная ошибка локализации звука, вычисляемая по разнице между точкой окончания первого движения и источником предъявления звука.

- Период корректирующего локализационного движения. Наблюдается в 49,8% представленных случаях. Его траектория, в отличие от траекторий движения головы в два предыдущих периода, у разных детей различна, но может быть описана как волнообразная, демонстрирующая тенденцию приближения к фактическому месту предъявления сигнала (на рисунке 1 соответствует

участку графика после точки 3). Характеризуется длительностью — временем, затраченным на максимально близкое приближение к фактическому углу предъявления сигнала (см. рис. 1, точка 4) от момента окончания первого локализационного движения (см. рис. 1, точка 3). В результате совершения корректирующего локализационного движения наблюдается вторичная локализационная ошибка, вычисляемая по разнице между точкой окончания корректирующего движения и источником предъявления звука.

Различия значений длительностей трех периодов локализации были проверены в ходе однофакторного дисперсионного анализа, показавшего значимое влияние фактора периода локализации на изменение значений длительностей периодов ($F(2,517) = 34,1; p < 0,001$). Обнаружено достоверное увеличение среднегрупповых значений таким образом, что: среднегрупповое значение первого локализационного движения больше среднегруппового значения длительности латентного периода ($0,62 \pm 0,28$ по сравнению с $0,5 \pm 0,26; p < 0,05$), среднегрупповая длительность периода корректирующего движения выше

по сравнению со среднегрупповой длительностью латентного периода ($0,86 \pm 0,5$ по сравнению с $0,5 \pm 0,26$; $p < 0,001$) и со среднегрупповой длительностью периода первого локализационного движения ($0,86 \pm 0,5$ по сравнению с $0,62 \pm 0,28$; $p < 0,001$).

Сравнение среднегрупповых значений первичной и вторичной ошибок локализации показало, что вторичная локализационная ошибка значимо меньше первичной ($10,9 \pm 9,9^\circ$ по сравнению с $18,3 \pm 14,8^\circ$; $W = -4,5$; $p < 0,001$). Обнаруженное существенное уменьшение локализационной ошибки позволяет заключить, что в ходе корректирующего движения происходит уточнение местоположения источника звука.

В ходе сравнения величин первичной и вторичной ошибок друг с другом показана существенная положительная корреляция между их значениями ($\tau = 0,67$; $p < 0,001$) (см. рис. 2). Как видно из рисунка 2, при положительной первичной ошибке локализации после корректирующего движения также преимущественно наблюдается положительная вторичная ошибка локализации. Верно и обратное: при отрицательной

первичной ошибке локализации вторичная ошибка чаще оказывается отрицательной.

Анализ результатов изменения первичной ошибки локализации в связи с пространственным положением источника звука относительно средней линии головы ребенка показал значимую связь данных значений ($\tau = 0,23$; $p < 0,001$): наименьшая первичная ошибка локализации наблюдается при предъявлении звука по средней линии головы и возрастает при увеличении углового расстояния до источника.

Анализ точности локализации звука после корректирующего движения в связи с пространственным положением сигнала показал ту же тенденцию увеличения значений ошибки к периферическим положениям источника звука и значимую связь величины ошибки с углом предъявления звука относительно средней линии головы ребенка ($\tau = 0,15$; $p < 0,05$). Однако результаты анализа свидетельствуют, что значения вторичной ошибки локализации в большей степени связаны со значениями первичной локализационной ошибки, чем с углом предъявления сигнала относительно средней линии головы.

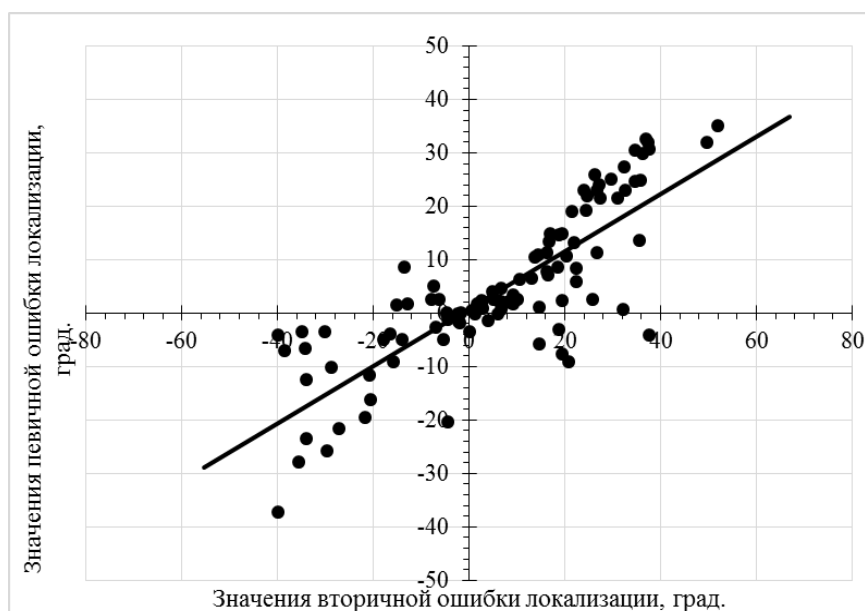


Рис. 2. Распределение значений вторичной ошибки локализации в связи со значениями первичной ошибки локализации

По оси абсцисс — значения первичной ошибки локализации, в градусах; по оси ординат — значения вторичной ошибки локализации, в градусах

Таким образом, в ходе исследования показано увеличение длительности периодов локализации от латентного периода к корректирующему движению, уменьшение среднегрупповых значений вторичной ошибки локализации по сравнению со среднегрупповыми значениями первичной ошибки, а также специфические изменения локализационных ошибок в связи с положением источника звука относительно средней линии головы и их взаимосвязь между собой. Все это позволяет заключить, что выделение трех периодов локализации неподвижного звука в горизонтальной плоскости детьми от полугода до полутора лет является правомерным и необходимым условием при проведении экспериментов, направленных на оценку локализации зву-

ка и ее параметров детьми данного возраста. Изучение взаимосвязи величины вторичной ошибки локализации со значениями первичной ошибки и положением сигнала относительно средней линии головы ребенка может свидетельствовать о том, что в период корректирующего движения ребенок ориентируется не на реальное исходное положение звука в пространстве, а на ту информацию о его положении, которая была получена в течение первых двух периодов локализации, что подчеркивает различия между механизмами, лежащими в основе периодов локализации, и может свидетельствовать о влиянии на локализацию звука в период корректирующего движения таких процессов, как память и внимание [3, 5 и др.].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grieco-Calub T. M., Litovsky R. Y. Sound localization skills in children who use bilateral cochlear implants and in children with normal acoustic hearing // *Ear and Hearing*. 2010. Vol. 31 (5). P. 645–656.
2. Kühnle S., Ludwig A. A., Meuret S., Küttner C., Witte C., Scholbach J., Fuchs M., Rübsamen R. Development of auditory localization accuracy and auditory spatial discrimination in children and adolescents // *Audiology and Neurotology*. 2012. Vol. 18 (1). P. 48–61.
3. Lovett R. E. S., Kitterick P. T., Huang S., Summerfield A. Q. The developmental trajectory of spatial listening skills in normal-hearing children // *Journal of Speech Language and Hearing Research*. 2012. Vol. 55 (3). P. 865–878.
4. Otte R. J., Agterberg M. J., Van Wanrooij M. M., Snik A. F., Van Opstal A. J. Age-related hearing loss and ear morphology affect vertical but not horizontal sound-localization performance // *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. 2003. Vol. 14 (2). P. 261–273.
5. Van Deun L., Van Wieringen A., Van den Bogaert T., Scherf F., Offeciers F. E., Van de Heyning P. H., Desloovere C., Dhooge I. J., Deggouj N., Raeye L. D., Wouters J. Sound localization, sound lateralization, and binaural masking level differences in young children with normal hearing // *Ear and Hearing*. 2009. Vol. 30 (2). P. 178–190.
6. Ashmead D. H., Clifton R. K., Perris E. Precision of auditory localization in human infants // *Developmental Psychology*. 1987. Vol. 23 (5). P. 641–647.
7. Clarkson M. G., Swain I. U., Clifton R. K., Cohen K. Newborns' head orientation toward trains of brief sounds // *Journal Acoustical Society of America*. 1991. Vol. 89 (5). P. 2411–2420.
8. Clifton R. K., Clarkson M. G., Gwiazda J., Bauer J. A., Held R. M. Growth in head size during infancy: Implications for sound localization // *Development Psychobiology*. 1988. Vol. 24 (4). P. 477–483.
9. Morrongiello B. A. Infants' localization of sounds in the median sagittal plane: Effects of signal frequency // *Journal Acoustical Society of America*. 1987. Vol. 82 (3). P. 900–905.
10. Muir D., Clifton R. K. Infants' orientation to the location of sound sources / Gottlieb G., Krasnegor N. A. eds. *Measurement of audition and vision in the first year of postnatal life: A methodological overview* // Westport: Ablex Publishing. 1985. P. 171–194.
11. Muir D., Hains S. The U-shaped developmental function for auditory localization // *Journal of Cognition and Development*. 2004. Vol. 5 (1). P. 123–130.
12. Slugocki C., Trainor L. J. Cortical indices of sound localization mature monotonically in early infancy // *European Journal of Neuroscience*. 2014. Vol. 40 (11). P. 3608–3619.