

ЛАТЕРАЛИЗАЦИЯ СЛУХА И ПЕРЕРАБОТКА МОЗГОМ РЕЧЕВЫХ ЗВУКОВ ПРИ ДИХОТИЧЕСКОМ ПРОСЛУШИВАНИИ¹

К. ХУГДАЛ



Хугдал Кеннет (Hugdahl Kenneth) — профессор биологической психологии в Университете Бергена (Норвегия), директор подразделения когнитивной нейронауки Университета Бергена и Бергенской группы функциональной магнитно-резонансной томографии. Являлся главным редактором «Скандинавского психологического журнала» и ассоциированным редактором ряда других журналов. Опубликовал более 300 статей и 5 книг по психофизиологии и асимметрии мозга, в которых является автором или редактором. Является пионером нейротомографических исследований в североевропейских странах.
Контакты: Hugdahl@psybp.uib.no

Резюме

*В статье представлен обзор исследований, проведенных за последние 20 лет в лаборатории Университета Бергена, в Норвегии, посвященных изучению структурной и функциональной асимметрии головного мозга при дихотическом прослушивании простых речевых звуков, таких, как слоги, состоящие из согласного и гласного звуков. Обсуждаются поведенческие и функциональные данные по нейротомографии, показывающие, что при дихотическом прослушивании преобладание правого уха коррелирует с активацией в верхних задних частях левой височной доли, *planum temporale* и прилегающих областях слуховой коры. Мы использовали метод дихотического прослушивания также для изучения высших когнитивных функций — внимания, управляющих функций, показавших различную нейрональную локализацию, включающую префронтальные и теменные области. В заключение статьи обсуждается явление слуховых галлюцинаций при шизофрении, которое интерпретируется как форма ошибочного восприятия речи, вызываемая нейрональной патологией в *planum temporale* в левой височной доле.*

Структурная и функциональная асимметрия

Несмотря на все проведенные исследования в области функциональ-

ной асимметрии, все еще не достигнуто достаточного понимания анатомических, или структурных, коррелятов функциональных различий полушарий мозга. Ключом к такого

¹ Данное исследование поддержано грантами Исследовательского совета Норвегии и Медицинского правления Западной Норвегии (Helse-Vest).

рода пониманию может быть уникальность процессов переработки людьми речевых звуков. Единственная в своем роде способность человеческого мозга извлекать фонетический код из акустического сигнала является, возможно, определяющей характеристикой человеческого существа. Поэтому язык и обработка речевых звуков могут рассматриваться как ключевые явления в понимании межполушарной асимметрии. С этим тезисом связан вопрос: не является ли нарушение латерализации процесса обработки речевых звуков механизмом слуховых галлюцинаций при шизофрении?

Хотя функциональная асимметрия часто наблюдается в зрении (Hellige, 1995; Kosslyn, 1987), не найдено анатомической, или структурной, асимметрии в зрительных областях, окципитальной коре. То же самое обнаруживается в других областях, где проявляется функциональная асимметрия, в моторных и сенсорных зонах. Это не значит, однако, что структурная, или анатомическая, асимметрия не существует в мозге человека. Наиболее известен так называемый «эффект закручивания», состоящий в том, что левое полушарие более объемно, чем правое, в задней части, тогда как правое полушарие больше, чем левое, в передней части, так создается как бы «движение закручивания» вдоль передне-задней оси. Другая известная форма асимметрии — это микроструктура паттернов извилин в правом и левом полушариях, а также угол Сильвиевой

борозды с правой и левой сторон (Springer, Deutsch, 1997). Надо признать, однако, что эти виды структурных асимметрий нелегко привести в соответствие с известными функциональными асимметриями, иначе говоря, нелегко содержательно интерпретировать их связь с функциональной асимметрией.

Височная область и звуковая речь

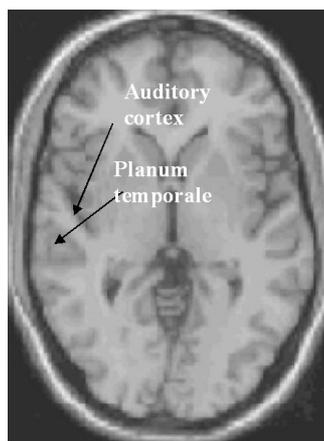
Исключением из правила является область *planum temporale*² (РТ) в верхней задней части левой височной доли (верхне-височная извилина, верхне-височная борозда), где обнаруживается глубокая левосторонняя асимметрия, наблюдаемая как при аутопсии (Galaburda et al., 1987), так и методом структурного магнитного резонанса (Steinmetz, Galaburda, 1991; Steinmetz et al., 1989). Объем серого вещества в области РТ в поперечном срезе верхней височной извилины на 30–35% больше с левой стороны, чем с правой (см. рис. 1).

Клеточные колонны с левой стороны также располагаются более широко, что может указывать на большее количество связей у каждого нейрона; аксоны левого РТ более миелинизированы, способствуя большей скорости проведения импульса. Взятые вместе, эти факты могут свидетельствовать о том, что структурная асимметрия в области РТ обеспечивает преимущества при быстрой переработке информации, как, например, в фонологии или при переработке речевых звуков.

²*Planum temporale* — треугольная область, расположенная на верхне-височной извилине.—
Прим. ред.

Рис. 1

Аксиальная магнитно-резонансная томограмма, показывающая *planum temporale* (PT) и область слуховой коры (черные стрелки)



Интересно, что PT-асимметрия обнаруживается и у крупных обезьян (Gannon et al., 2005). Эти данные могут быть истолкованы как в пользу, так и против идеи исключительной связи PT-асимметрии с человеческой способностью к восприятию речи. Согласно П. Либерману, тот факт, что структуры мозга крупных обезьян подготовлены для пользования речью и языком, свидетельствует в пользу эволюционного взгляда на возникновение языка (Lieberman, 2006). Однако что-то должно было случиться в ходе эволюции, что послужило препятствием для развития у них функциональной речевой анатомии. Можно предположить, что это была неудачная по сравнению с человеком наклонная посадка головы, недостаточно прямая постановка корпуса, что укорачивало супраларингальный голосовой тракт. В результате этого слишком короткий голосовой тракт обезьяны оказался непригодным для такой модуляции

потока воздуха, которая необходима для осуществления тонкой и искусной дифференциации речевых фонем. Таким образом, эволюция пожертвовала потенциальным языковым модулем крупных обезьян в пользу наклонной позиции их головы и туловища, что и наблюдается, например, у шимпанзе. Может быть, это произошло в силу необходимости для обезьян ловко карабкаться по деревьям и прыгать с ветки на ветку.

На этот факт можно посмотреть и с другой стороны: поскольку PT-асимметрия существует у обезьян, значит, она не могла явиться единственным основанием для развития у человека способности к продуцированию и восприятию речи. Я не делаю различия между эволюцией восприятия и продуцирования речи, поскольку развитие лишь одной из этих сторон не имеет смысла. Таким образом, хотя PT-область является перцептивной по своему характеру, она, несомненно, должна была эволюционировать

вместе с областью модуля продуцирования речи (Lieberman, 2006). В целом и клинические, и экспериментальные факты показывают, что РТ-асимметрия связана с восприятием речи человеком. Однако существуют аргументы и против этой точки зрения, свидетельствующие о том, что РТ специализируется на анализе частоты звуковых стимулов (Dogsaint-Pierre et al., 2006; Poeppel, 1996; Zatorre, Belin, Penhune, 2002).

Исследование дихотического прослушивания в связи с РТ и функцией слуховой коры

Мы использовали технику простого прослушивания слогов, состоящих из согласного и гласного звуков, при бинауральном предъявлении стимулов с целью выявить некоторые функциональные особенности левого РТ и прилегающих областей слуховой коры. Дихотическое прослушивание представляет собой неинвазивную технику, применяемую для изучения мозговой латерализации, или межполушарной асимметрии (Kimura, 1961; Bryden, 1963; Hugdahl, 1988). Иначе говоря, дихотическое прослушивание — средство тестировать различия в способности к переработке информации в левом и правом полушариях людей. Дихотическое прослушивание в буквальном смысле означает «одновременное слушание двух различных сигналов», подаваемых один в левое, другой — в правое ухо. Обычно предъявляются короткие слоги, состоящие из согласного и гласного звуков, которые лишены языкового значения, но соответствуют фонетике языка, чем и создается основа для изучения

перцептивной асимметрии в слуховой области. В настоящее время в большинстве исследований используются шесть взрывных согласных в сочетании с гласной /а/ и соответственно шесть слогов /ба/, /да/, /га/, /па/, /та/, /ка/ (см.: Hugdahl, 1995, где представлено детальное описание методики).

Типичный результат применяемой методики состоит в выявлении преобладания правого уха (ППУ), что трактуется как результат специализации левой височной доли в обработке простых речевых звуков. Эта интерпретация подтверждается современными исследованиями с применением функциональной томографии мозга: выявлена более высокая нейрональная активация в левом полушарии по сравнению с правым как при дихотическом (Hugdahl et al., 1999; Jäncke et al., 2002), так и при моноуральном предъявлении слогов (Tervaniemi et al., 1999), что особенно выражено в верхних и медиальных извилинах.

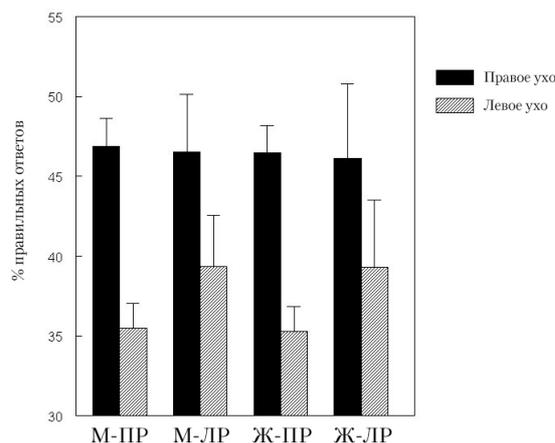
Преобладание правого уха (ППУ), типичное при дихотическом прослушивании, показано на рис. 2. Представленные на рисунке данные получены при исследовании более чем 1600 здоровых индивидов, начиная с детского возраста и до глубокой старости, мужчин и женщин, право- и леворуких.

Представленные на рис. 2 результаты показывают типичные проявления ППУ, т. е. более правильное восприятие слогов при правостороннем предъявлении. На рис. 2 видно также, что ППУ-эффект выражен сильнее у правой и не зависит от пола испытуемых. Хотя техника дихотического прослушивания используется

Рис. 2

**Диаграммы, демонстрирующие преобладание правого уха (ППУ)
при дихотическом прослушивании слогов**

М — мужчины, Ж — женщины, ПР — праворукие, ЛР — леворукие



обычно для изучения межполушарной асимметрии, в данном контексте она позволяет измерять интактность и функционирование височной доли (Wester, Hugdahl, 1995), внимание и управляющие процессы (Hugdahl, 2003), скорость переработки информации и функционирование мозолистого тела (Pollmann et al., 2002). Показатели ППУ были квалифицированы (Kimura, 1967) как результат различий в проводимости сигналов в ипси- и контралатеральных путях. ППУ понимается как результат того факта, что, хотя слуховой вход направляется в височные области обоих полушарий, контралатеральная проекция оказывается сильнее и побеждает ипсилатеральную проекцию в случае, когда с двух сторон поступает противоречивая информация. Преобладание контралатеральных слуховых проекций означает, что доминантное по языку левое полушарие получает более сильный сигнал от правого уха. Контралатеральный

сигнал из левого уха в правое полушарие должен пройти мозолистое тело перед тем, как он будет обработан в левом полушарии. По той же самой логике преобладание левого уха (ПЛУ) свидетельствует о доминантности по языку правого полушария; отсутствие преобладания какого-либо уха (ОПУ) говорит о билатеральной доминантности по языку.

Как валидизировать ППУ при дихотическом прослушивании?

Мы использовали два различных подхода для валидации основного ППУ-эффекта. При одном из них производилось исследование пациентов с локализованным повреждением мозга. Исследование проводилось на монозиготных близнецах, от рождения страдавших односторонней перивентрикулярной геморрагией. Один из близнецов имел повреждение в левом полушарии, другой — зеркальное повреждение в правом по-

лушарии. Тестирование близнецов методом дихотического прослушивания слогов показало явное ППУ у брата-близнеца с правосторонним повреждением и зеркальное же преобладание левого уха (ПЛУ) у близнеца с поражением левого полушария. Это показано на рис. 1в на цветной вклейке.

При другом подходе использовались методы функциональной нейротомографии (позитронно-эмиссионной и магнитно-резонансной) с задачей выявить нейрональные основания ППУ, предположительно локализованные в верхней задней части левой височной доли. На рис. 2в на цветной вклейке показаны результаты первого позитронно-эмиссионного исследования ППУ при дихотическом прослушивании.

На рисунке обращает на себя внимание сильная левосторонняя асимметрия на уровнях от +6 до +16 мм выше так называемой «нулевой линии» по горизонтали через переднюю и заднюю комиссуры, включая собственно РТ. Примечательно, однако, что активация начинается много ниже РТ в середине височной извилины, показывая, что не только РТ активируется фонологическими стимулами (см. также: Binder, Price, 2001). Интересно отметить, что по мере возрастания асимметрии активация в левом полушарии перемещается в более заднем направлении по сравнению с активацией в правом. Этот аспект паттерна асимметрии часто не замечается. В более позднем исследовании Ларса Мортена Римоля в нашей лаборатории (Rimol et al., 2005) с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии показано, что асимметрия в левом РТ оказывается еще более ясно выра-

женной, если предъявляются только согласные звуки. Это показано на рис. 3в на цветной вклейке.

Что происходит в правом полушарии?

Согласно анатомической модели, предложенной Кимура (Kimura, 1967), могут быть высказаны две гипотезы в отношении функции правого полушария. По одной из них правое полушарие не участвует в обработке слогов, но передает их через мозолистое тело в левое полушарие для обработки. Этот путь требует времени и ресурсов и является подчиненным в процессе переработки информации. Согласно другой гипотезе, стимулы обрабатываются и в правом полушарии, но в гораздо меньшей степени.

Эти гипотезы проверялись в исследовании (Pollmann et al., 2002) на 11 пациентах с нарушениями в мозолистом теле. Нарушения имели место у разных испытуемых в передней, средней или задней части мозолистого тела, что давало возможность сравнивать результаты дихотического прослушивания в условиях разных поражений.

Результаты ясно обнаружили, что пациенты с нарушением в задних частях мозолистого тела, где перекрещиваются слуховые пути, не воспринимали ничего, идущего с левой стороны, и имели выраженное ППУ. Таким образом, при локализации нарушения в задней части мозолистого тела (isthmus и splenium) сигнал не может перейти в левое полушарие и человек не реагирует на информацию, получаемую левым ухом. Это поддерживает гипотезу, что правое полушарие не обрабатывает сигналы из левого уха.

Внимание и управляющие функции при дихотическом слушании

Многие годы мы изучали традиционный вариант дихотического прослушивания, при котором испытуемый следует инструкции обращать внимание на сигналы, поступающие с правой или с левой стороны и только о них сообщать экспериментатору. Эту парадигму мы называли «вынужденным вниманием» (Hugdahl, Andersson, 1986). В ней различаются три варианта условий: нейтральная инструкция (ИН), где внимание испытуемых специально не направляется; инструкция ориентации на восприятие от правого уха (ИПУ) и отчет о восприятии справа; инструкция ориентации на левое ухо (ИЛУ) и отчет о восприятии слева.

В недавнее время мы получили интересный факт: эффект от инструкции, направляющей на правое или левое ухо, неодинаков: направление внимания на левое ухо оказывается более слабым. Мы высказали гипотезу, что это различие имеет в своей основе управляющую функцию, которая включается, когда требуется перенести внимание на стимулы с левого уха. В этой связи мы разработали модель, согласно которой ИН-условие открывает путь для идущего снизу вверх, т. е. вызываемого стимулом, эффекта латеральности ППУ, а ИПУ- и ИЛУ-условия запускают эффекты, идущие сверху вниз, т. е. от инструкции. В условиях ИПУ исходный эффект преобладания правого уха усиливается в силу фокусирования внимания на стимуле с правого уха, тем самым влияя, идущие сверху вниз и снизу вверх, действуют здесь однонаправленно, синергиче-

ски, требуя лишь аттенционального компонента. Однако в условиях ИЛУ влияния, идущие сверху и снизу, оказываются в конфликте: влияние снизу действует в сторону правостороннего стимула, а влияние сверху (инструкция) — в сторону левостороннего стимула.

Из модели следует, что процессы, направленные снизу вверх и сверху вниз, включают различные нейронные пути: при нейтральной инструкции задействуется височная область, в условиях ИПУ и ИЛУ процесс фокусируется в теменных и лобных отделах соответственно (Posner, Petersen, 1990). Аналогичные данные получены недавно в исследовании с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии (Thomsen et al., 2004). Предложенная модель может рассматриваться как «генераторная»-«модуляторная», где генераторный процесс осуществляется височной долей, а модуляторный — лобной и теменной.

Слуховые галлюцинации как случай патологии в левой височной доле

Мы нашли, что пациенты с шизофренией и частыми галлюцинациями не обнаруживают ППУ в тесте дихотического прослушивания в отличие от негаллюцинирующих пациентов (Green et al., 1994). Мы считаем, что это может быть результатом патологии в височной доле, включая РТ-области восприятия речи, где возникают слуховые галлюцинации. Возможно, «слышание голосов» подобно обычному восприятию речи с тем важным отличием, что отсутствует внешний вход. Не может ли быть,

что пациенты-шизофреники имеют своего рода гиперактивность в этой области мозга, а нейроны там патологически разряжаются, порождая восприятие подобия речи у пациентов? Совместно с другими лабораториями (Kubicki et al., 2002) мы обнаружили уменьшение объема серого вещества с левой стороны РТ-области у пациентов с шизофренией по сравнению с контрольной группой здоровых испытуемых (Neckelmann et al., 2006), что может явиться структурным коррелятом функциональной ненормальности при дихотическом слуша-

нии (Green et al., 1994; Løberget al., 2002). В работе Некельмана с соавт. (Neckelmann et al., 2006) обнаружено существенное уменьшение объема серого вещества не только в РТ-области, но также в таламусе и перивентрикулярной области, что было подтверждено и в других работах. Результаты исследования Некельмана с соавт. показаны на рис. 4в на цветной вклейке.

*Перевод с англ. Е.А. Валугево
Научный редактор – Т.Н. Ушакова*

Литература

Binder J., Price C.J. Functional neuroimaging of language // A. Kingstone (ed.). Handbook of functional neuroimaging of cognition. Cambridge, MA: MIT Press, 2001. P. 187–250.

Dorsaint-Pierre R., Penhune V.B., Watkins K.E., Neelin P., Lerch J.P., Bouffard M. et al. Asymmetries of the planum temporale and Heschl's gyrus: relationship to language lateralization // Brain. 2006. Vol. 129 (Pt 5). P. 1164–1176.

Galaburda A.M., Corsiglia J., Rosen G., Sherman G.F. Planum temporale asymmetry: Reappraisal since Geschwind and Levitsky // Neuropsychologia. 1987. Vol. 25. P. 853–868.

Gannon P.J., Khech N.M., Braun A.R., Holloway R.L. Planum parietale of chimpanzees and orangutans: a comparative resonance of human-like planum temporale asymmetry // Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol. 2005. Vol. 287(1). P. 1128–1141.

Green M.F., Hugdahl K., Mitchell S. Dichotic listening during auditory halluci-

nations in schizophrenia // American Journal of Psychiatry. 1994. Vol. 151. P. 357–362.

Hellige J.B. Hemispheric asymmetry for components of visual information processing // R.J. Davidson, K. Hugdahl (eds.). Brain asymmetry. Cambridge, MA: MIT Press, 1995. P. 99–122.

Hugdahl K. Dichotic listening: Probing temporal lobe functional integrity // R.J. Davidson, K. Hugdahl (eds.). Brain asymmetry. Cambridge MA: MIT Press, 1995. P. 123–156.

Hugdahl K. Dichotic listening in the study of auditory laterality // K. Hugdahl, R.J. Davidson (eds.). The asymmetrical brain. Cambridge, MA: MIT Press, 2003. P. 441–478.

Hugdahl K., Andersson L. The «forced-attention paradigm» in dichotic listening to CV-syllables: A comparison between adults and children // Cortex. 1986. Vol. 22. P. 417–432.

Hugdahl K., Brønnick K., Law I., Kyllingsbæk S., Paulson O.B. Brain activation

during dichotic presentations of consonant-vowel and musical instruments stimuli: A 15O-PET study // *Neuropsychologia*. 1999. Vol. 37. P. 431–440.

Hugdahl K., Carlsson G. Dichotic listening performance in a monozygotic twin-pair with left- and rightsided hemiplegia // *NeuroCase*. 1996. 2. P. 141–147.

Jäncke L., Wüstenberg T., Scheich H., Heinze H.J. Phonetic perception and the temporal cortex // *NeuroImage*. 2002. Vol. 15. P. 733–746.

Kimura D. Functional asymmetry of the brain in dichotic listening // *Cortex*. 1967. Vol. 3. P. 163–168.

Kosslyn S.M. Seeing and imagining in the cerebral hemispheres. A computational approach // *Psychological Review*. 1987. Vol. 94. P. 148–175.

Kubicki M., Shenton M.E., Salisbury D.F., Hirayasu Y., Kasai K., Kikinis R. et al. Voxel-based morphometric analysis of gray matter in first episode schizophrenia. *Neuroimage*. 2002. Vol. 17(4). P. 1711–1719.

Lieberman P. Toward an evolutionary biology of language. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2006.

Løberg E.M., Jørgensen H., Hugdahl K. Functional brain asymmetry and attention modulation in young, psychiatric stable schizophrenic patients: A dichotic listening study // *Psychiatry Research*. 2002. Vol. 109. P. 281–287.

Neckelmann G., Specht K., Lund A., Erslund L., Smievoll A.I., Neckelmann D. et al. MR morphometry analysis of grey matter volume reduction in schizophrenia: association with hallucinations // *International Journal of Neuroscience*. 2006. Vol. 116 (1). P. 9–23.

Poeppel D. A critical review of PET studies of phonological processing // *Brain and Language*. 1996. Vol. 55. P. 317–351.

Pollmann S., Maertens M., von Cramon D.Y., Lepsien J., Hugdahl K. Dichotic listening in patients with splenial and non-

splenial callosal lesions // *Neuropsychology*. 2002. Vol. 16. P. 56–64.

Posner M.I., Petersen S.E. The attention system of the human brain // *Annual Review of Neuroscience*. 1990. Vol. 13. P. 25–42.

Rimol L.M., Specht K., Weis S., Savoy R., Hugdahl K. Processing of sub-syllabic speech units in the posterior temporal lobe: an fMRI study // *NeuroImage*. 2005. Vol. 26 (4). P. 1059–1067.

Springer S., Deutsch G. Left brain, right brain. San Francisco: Freeman, 1997.

Steinmetz H., Galaburda A.M. Planum temporale asymmetry: In-vivo morphometry affords a new perspective for neuro-behavioral research // *Reading and Writing*. 1991. Vol. 3. P. 331–343.

Steinmetz H., Rademacher J., Huang Y., Hefter H., Zilles K., Thron A. et al. Cerebral asymmetry: MR planimetry of the human planum temporale // *Journal of Computer Assisted Tomography*. 1989. Vol. 13. P. 996–1005.

Tervaniemi M., Medvedev S., Alho K., Pakhomov S., Roudas M., van Zuijen T.L. et al. Lateralized pre-attentive processing of phonetic and musical information: a PET study // *NeuroImage*. 1999. Vol. 9 (6). P. 767.

Thomsen T., Rimol L. M., Erslund L., Hugdahl K. Dichotic listening reveals functional specificity in prefrontal cortex: an fMRI study // *NeuroImage*. 2004. Vol. 21 (1). P. 211–218.

Wester K., Hugdahl K. Arachnoid cysts of the left temporal fossa: Impaired preoperative cognition and postoperative improvement // *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 1995. Vol. 59. P. 293–298.

Zatorre R.J., Belin P., Penhune V.B. Structure and function of auditory cortex: music and speech // *Trends in Cognitive Sciences*. 2002. Vol. 6. P. 37–46.