

УДК 612.821

DOI: 10.33910/2687-0223-2019-1-1-11-21

Специфика межполушарной функциональной асимметрии лобной области у детей 4–7 лет с задержкой психического и речевого развития

Е. И. Николаева^{✉1,2}, В. А. Илюхина³, Е. Г. Вергунов⁴

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 191186, Россия, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

² Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 399770, Россия, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28

³ Институт мозга человека им. Н. П. Бехтерева РАН, Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 9

⁴ Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины, Россия, 6300117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, д. 4

Сведения об авторах

Николаева Елена Ивановна, SPIN-код: 4312-0718, ORCID: [0000-0001-8363-8496](https://orcid.org/0000-0001-8363-8496), e-mail: klemtina@yandex.ru

Илюхина Валентина Александровна, SPIN-код: 4832-9468, Scopus AuthorID: 6603159606, e-mail: tkmp2008@mail.ru

Вергунов Евгений Геннадьевич, SPIN-код: 9940-3675, ORCID: [0000-0002-8352-5368](https://orcid.org/0000-0002-8352-5368), e-mail: vergounov@gmail.com

Для цитирования:

Николаева, Е. И., Илюхина, В. А., Вергунов, Е. Г. (2019) Специфика межполушарной функциональной асимметрии лобной области у детей 4–7 лет с задержкой психического и речевого развития. *Комплексные исследования детства*, т. 1, № 1, с. 11–21. DOI: 10.33910/2687-0223-2019-1-1-11-21

Получена 30 января 2019; прошла рецензирование 29 марта 2019; принята 11 апреля 2019.

Финансирование: Работа поддержана грантом РФФ 14-18-02135.

Права: © Авторы (2019). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. В работе делается попытка оценить соотношения устойчивых потенциалов лобной области правого и левого полушарий у детей 4–7 лет с общим недоразвитием речи (ОНР) и задержкой психического развития церебрально-органического генеза (ЗПР). В обследовании приняли участие 30 детей (20 мальчиков и 10 девочек) в возрасте от 4 до 7 лет ($5,5 \pm 1,1$ лет). 15 детей имели диагноз ОНР 2-го или 3-го уровня речевого развития, 15 детей — оба диагноза ОНР и ЗПР церебрально-органического генеза. Все дети для уточнения диагноза были обследованы неврологом и логопедом. В соответствии с данными неврологического обследования определяли наличие изменений на стволовом, пирамидном и экстрапирамидном уровнях. Логопед устанавливал уровни ОНР, обусловленные преимущественным нарушением корковых механизмов. Оценивали динамику устойчивого потенциала (УП) мозга в симметричных отведениях левого и правого полушарий, соответствующих проекции поля F9 по Бродману с помощью миниатюрных жидкостных неполяризуемых хлорсеребряных электродов. Для анализа согласованности значений УП левого и правого полушарий головного мозга был использован метод, стандартизированный для данных целей (метод Блэнда — Алтмана). У детей с ОНР 2-го и 3-го уровней в покое по показателям УП отмечается более высокий уровень согласованности активности лобных зон правого и левого полушарий по сравнению с детьми с ОНР и ЗПР, а сдвиг функционального состояния влечет за собой снижение уровня этой согласованности. У детей с сочетанием ОНР и ЗПР нет изменений в уровне согласованности активности полушарий при переходе из одного функционального состояния в другое. У детей с сочетанием ОНР и ЗПР выявлена более высокая активность правого полушария по сравнению с детьми только с ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития.

Ключевые слова: устойчивый потенциал, префронтальные отделы коры головного мозга, взаимодействие полушарий, дети, общее недоразвитие речи, задержка психического развития.

Peculiarities of interhemispheric functional asymmetry of the frontal region in 4–7 year-old children with mental development and speech development delay

E. I. Nikolaeva^{✉1,2}, V. A. Iluychina³, E. G. Vergunov⁴

¹ Herzen State Pedagogical University of Russia, 48 Moika River Emb., Saint Petersburg 191186, Russia

² Bunin Yelets State University, 28 Kommunarov Str., Yelets, 399770, Russia

³ N. P. Bechtereva Institute of the Human Brain, Russian Academy of Sciences, 9 Akademika Pavlova Str., Saint Petersburg 197376, Russia

⁴ State Scientific Research Institute of Physiology and Basic Medicine, 4 Timakova Str., Novosibirsk 6300117, Russia

Authors

Elena I. Nikolaeva, SPIN: 4312-0718, ORCID: 0000-0001-8363-8496, e-mail: klemtina@yandex.ru

Valentina A. Iluychina, SPIN: 4832-9468, Scopus AuthorID: 6603159606, e-mail: tkmp2008@mail.ru

Evgeniy G. Vergunov, SPIN: 9940-3675, ORCID: 0000-0002-8352-5368, e-mail: vergounov@gmail.com

For citation: Nikolaeva, E. I., Iluychina, V. A., Vergunov, E. G. (2019) Peculiarities of interhemispheric functional asymmetry of the frontal region in 4–7 year-old children with mental development and speech development delay. *Comprehensive Child Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 11–21. DOI: 10.33910/2687-0233-2019-1-1-11-21

Received 30 January 2019; reviewed 29 March 2019; accepted 11 April 2019.

Funding: This research is supported by the Russian Science Foundation, grant number 14-18-02135.

Copyright: © The Authors (2019). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under CC BY-NC License 4.0.

Abstract. This work is an attempt to evaluate the ratio of sustainable potentials in the frontal region of the right and left hemispheres in children of 4-7 years of age with speech dysphasia (SD) and light mental problems of cerebral-organic genesis (LMP). The survey was administered to 30 children (20 boys and 10 girls) aged 4 to 7 years ($5,5 \pm 1,1$ years); 15 children had been diagnosed with General Speech Underdevelopment (GSU) in the 2nd or 3rd degree, and the other 15 children had been diagnosed with both SD and LMP. To confirm the diagnoses all the children were examined by a neurologist and a speech therapist. The data obtained during the neurological examination determined the presence of changes on the brainstem, pyramidal and extrapyramidal levels. In turn, the speech therapist determined the degrees of SD caused by a primary disorder of cortical mechanisms. The dynamics of sustainable potential (SP) of the brain in symmetrical prefrontal leads of the left and right hemispheres, corresponding to the projection of the F9 Brodmann area, was evaluated by means of applying miniature liquid non-polarisable silver chloride electrodes. For children with the 2nd and 3rd degree SD in a state of rest a high level of activity coordination in the frontal areas of the right and left hemispheres was detected, whereas a shift to a functional state entailed a reduction in the level of such coordination. In children with a combination of the SD and the LMP there was no change in the level of activity coordination in the hemispheres during the transition from one functional state to another. A higher level of activity in the right hemisphere was revealed in children with a combination of the SD and the LMP in comparison with children with the 2nd and 3rd degree SD only.

Keywords: sustainable potential, the prefrontal cortex, the interaction of the hemispheres, children, speech dysphasia, light mental problem.

Введение

Мозговая организация, обеспечивающая речевую активность ребенка, в настоящее время изучена достаточно хорошо (Kang et al. 2015, 658; Werker et al. 2015, 173). Специфическое участие отдельных корковых зон в обработке звуков речи обнаруживается в мозге человека на 29-й неделе гестации (Price 2012, 816; Moon et al. 2013, 156). В некоторых исследованиях показано, что левое полушарие доминантно по речи от рождения, как и у взрослых (Pena et al. 2003, 11702); другие исследования обнаруживают первоначально билатеральную активацию с нарастанием левополушарной специализации в последующие несколько месяцев жизни ребенка (Perani et al. 2011, 16056).

Противоречивость обусловлена тем, что современные методы, в том числе фМРТ, лишь ограниченно могут быть использованы для изучения речевой функции детей (Perani et al. 2011, 16056). С появлением функциональной транскраниальной Доплеровой сонографии (functional transcranial Doppler sonography, fTDS) возникла возможность измерения кровотока в левой и правой средней мозговых артериях во время решения лингвистических задач (Ocklenburg et al. 2014, 1143; Hodgson et al. 2017, 173). Тем не менее этих исследований пока недостаточно.

Речевые нарушения представляют собой одну из самых актуальных проблем в дошкольном возрасте, поскольку речевое развитие непосредственно взаимосвязано с когнитивным (Валявко 2016, 30). Изучение взаимодействия полушарий

у дошкольников с речевыми нарушениями представляет еще большие методические трудности, поскольку дети слишком быстро утомляются. Существуют единичные работы, посвященные взаимодействию полушарий при задержке речевого развития (Mahmoudzadeh et al. 2013, 4846; Ramus 2014, 274), результаты в которых также в значительной мере противоречивы. Тем не менее большинство исследователей склоняется к мысли, что речевые расстройства сочетаются с меньшей латерализацией речевой функции (Badcock et al. 2011, 310; De Guibert et al. 2011, 3044; Sun et al. 2010, 89; Mellet et al. 2013, 383), тогда как специфика взаимодействия полушарий головного мозга у детей с речевыми проблемами не определена. В частности, непонятно, снижение латерализации обусловлено снижением функции левого полушария или, напротив, активации правого? Практически нет работ о взаимодействии полушарий мозга у детей с речевыми проблемами, отягощенными задержкой психического развития. В то же время общие представления о центральных механизмах речи позволяют предположить, что задержка психического развития может быть связана, возможно, с большей активацией правого полушария, обусловленной включенностью правого полушария в любые процессы адаптации, в том числе адаптацией к мозговым нарушениям (Nikolaeva et al. 2011).

Устойчивый потенциал (УП) милливольтового диапазона при регистрации с поверхности головы позволяет оценивать уровень активации мозговых систем, имеющих корковые проекции в основных интегративных центрах — лобной, височной и теменной областях (Илюхина 2012). В сравнительных психолого-физиологических исследованиях установлены закономерные соотношения УП лобной и височно-теменной областей с психологическими характеристиками особенностей формирования уровня актуального развития высших психических функций и речи в разные периоды онтогенеза: а) у здоровых детей дошкольного возраста; б) у детей с общим недоразвитием речи, при задержке нервно-психического развития церебрально-органического генеза в те же возрастные периоды (Илюхина 2012; Krivoshcharova et al. 2006, 47).

Известно, что речь — латерализованный процесс (Буторина и др. 2012, 103; Kalmady et al. 2013, 625; McCulloch et al. 2017, 473). При использовании УП межполушарные отношения могут быть определены разными способами. Так, суммарная оценка нескольких отведений, фиксирующих устойчивый потенциал в левом и правом полушариях, показала наличие раз-

личий этих отношений у людей разного возраста с различными расстройствами (Фокин и др. 2003). Иногда рассчитывается процент проб, в которых превалирует правое или левое полушарие мозга при определении устойчивого потенциала с определенной точки поверхности головы (Фокин и др. 2012, 38). Возможен и расчет корреляций изменений в левом и правом полушариях.

При описании межполушарных отношений при речевых расстройствах у дошкольника крайне важно знать, насколько конкретные области полушарий действуют совместно, и если изменения происходят одновременно, является ли их вклад аддитивным, или он усиливается в совместных действиях.

С этой точки зрения наиболее подходящей для описания такого рода изменений представляется локальная, а не суммарная, оценка УП с конкретных областей поверхности головы, прежде всего относящихся к интегративным системам.

Ранее в работе М. Н. Кривошаповой (Krivoshcharova et al. 2006, 47), которая регистрировала УП в разных отведениях с поверхности головы, было показано ограничение вариативности и снижение уровней активации в префронтальных отделах коры у детей 4–5 лет с задержкой психического развития и ОНР I–II уровня речевого развития. Именно поэтому префронтальные области и были выбраны для исследования. В то же время не были изучены особенности межполушарной функциональной асимметрии лобной области у детей только с ОНР и детей с двумя диагнозами (ОНР и ЗПР), что крайне важно при разработке реабилитационных мероприятий для каждой из этих групп.

Задача исследования состояла в сопоставлении с помощью анализа параметров УП особенностей межполушарного взаимодействия у детей с ОНР и детей с сочетанием ОНР и ЗПР.

Материал и методы

В обследовании приняли участие 30 детей (20 мальчиков и 10 девочек) в возрасте от 4 до 7 лет ($5,5 \pm 1,1$ лет). 15 детей имели диагноз общее недоразвитие речи (ОНР) 2-го и 3-го уровней, 15 детей — ОНР в сочетании с задержкой психического развития (ЗПР) церебрально-органического генеза. Все дети для уточнения диагноза были обследованы неврологом и логопедом. В соответствии с данными неврологического обследования определяли наличие изменений на стволовом, пирамидном и экстрапирамидном уровнях.

В свою очередь, логопед устанавливал уровни ОНР, обусловленные преимущественным нарушением корковых механизмов.

Для определения корковых проекций различных отделов лобной области на поверхности головы использована схема Кронляйна, которая позволяет выделять на поверхности головы местоположение Роландовой и Сильвиевой борозд с учетом особенностей строения черепа. Соответственно использовали следующие ориентиры: 1) сагиттальную линию — от надпереносья до выступа затылочной кости, 2) горизонтальную линию — по нижнему краю глазницы и верхней части наружного слухового прохода, 3) горизонтальную линию — по поверхностному краю глазницы параллельно горизонтальной нижней линии, 4) вертикальную линию переднюю — через середину скуловой дуги, 5) вертикальную линию среднюю — через суставной отросток нижней челюсти, 6) вертикальную линию заднюю — через заднюю границу сосцевидного отростка (Илюхина 2012).

Оценивали динамику устойчивого потенциала (УП) мозга, регистрируемого с поверхности головы. В данном исследовании анализируются результаты динамики УП в префронтальном отведении (поле А9 по Бродману) слева и справа с помощью миниатюрных жидкостных неполяризуемых хлорсеребряных электродов оригинальной конструкции и усилитель постоянного тока с $R_{вх}$ 100 МОм. Контактная поверхность электрода составляла $0,8 \text{ см}^2$. Устойчивость собственного потенциала электродов контролировалась по отношению к образцовому, тарированному электроду сравнения ЭСО-0,1. Рабочий и электрод сравнения помещали в трехмолярный раствор хлорида калия. Отбирались электроды с устойчивым собственным потенциалом (дрейф потенциала рабочих электродов не превышал $1,0\text{--}1,5 \text{ мВ}$ в час).

Применялись традиционные способы снижения сопротивления в области приложения электродов к коже головы. Применяли униполярный способ отведения устойчивого потенциала от проекции префронтальной коры по отношению к референтному электроду. Референтный электрод фиксировался по средней линии лба, над переносицей, на $1,0 \text{ см}$ выше линии бровей. Исследования проводили в состоянии оперативного покоя.

Регистрацию УП производили в состоянии покоя в положении сидя в кресле при нормальном освещении. Ребенку объяснялась процедура исследования и демонстрировались электроды. Его просили закрыть глаза, хотя не все дети это выполняли. Значения УП одновременно

для двух полушарий измерялись и фиксировались в протоколе каждые $30\text{--}50$ секунд. Общее время исследования $8\text{--}10$ минут.

В число основных параметров уровня бодрствования по показателям УП входят: начальные значения УП, измеренные в самом начале исследования, свидетельствующие об исходном уровне активации в состоянии активного бодрствования, и последующие измерения значения УП до выхода значений на плато, которые позволяют судить об уровне оперативного покоя. Записи УП происходили в течение примерно 10 минут (пока оценки УП давали разные результаты) до тех пор, пока значения не выходили на некоторое плато (некоторые постоянные значения), специфичное для каждого ребенка.

В работе использовалось введенное В. А. Илюхиной (Илюхина 2012; Krivoshchapova et al. 2006, 47) ранжирование уровня активного бодрствования на основании УП, полученные при исследовании здоровых детей.

Низкие и умеренно сниженные негативные значения УП после выхода на плато характеризуют низкий (от -5 до -20 мВ) или умеренно сниженный (от -20 до -25 мВ) уровень оперативного покоя с психологическими и клиническими проявлениями астенического состояния, ограничением приспособительных возможностей основных регуляторных систем, снижением адаптивных функциональных резервов и неспецифической резистентности организма к стрессорным воздействиям.

Средние негативные значения УП после выхода на плато (от -25 до -40 мВ) свидетельствуют об оптимальном уровне оперативного покоя с широкими приспособительными возможностями организма, высокой продуктивностью познавательной деятельности, адекватными и оптимальными реакциями организма на любые виды эндогенных и экзогенных воздействий, высокой стрессорной устойчивостью.

Высокие негативные значения УП после выхода на плато (от -41 до -60 мВ и более) указывают на состояние напряжения основных регуляторных систем обеспечения уровня оперативного покоя. На поведенческом уровне это проявляется психоэмоциональным напряжением, парадоксальными реакциями на воздействия любого рода, затруднения в обучении.

Стоит подчеркнуть, что у детей с речевыми проблемами весьма часто УП находятся на границе или даже выходят за пределы границы самого низкого уровня данной классификации, соответствующей для детей нормативного развития. Поскольку УП для здоровых детей были описаны ранее, были взяты только

дети с ОНР и ЗПР. Оказалось, что существуют значительные индивидуальные различия у детей данных групп, что ставит под вопрос полезность использования среднего показателя по группе. Поскольку одновременно делалось несколько измерений в двух полушариях, возникла возможность оценки согласованности активности в них.

Для оценки межполушарной согласованности устойчивых потенциалов был применен стандартный метод Блэнда — Алтмана, графики которого обрабатывались с помощью регрессионного анализа. В этом подходе, типично используемом в физиологии, биологии и медицине (Bland et al. 1986, 307; Altman 1991; Вергунов и др. 2016, 34; Вайнер и др. 2016, 24), для оценки согласованности коррелированных (включая повторные) результатов измерений (например, X и Y) предложено последовательно анализировать два графика. Первый график (X/Y) позволяет оценить влияние случайных компонент. Для этого значения X откладываются по горизонтальной оси, а Y — по вертикальной оси. Чем это влияние меньше, тем теснее между X и Y корреляционная связь и тем меньше статистических «выбросов» за пределы 95 % границ предсказанных значений по уравнению регрессии.

На втором графике (Xa/Ya) по горизонтальной оси откладываются величины Xa = (X + Y)/2, а по вертикальной оси — соответствующие им разности Ya = X – Y. В ряде случаев J. M. Bland и D. G. Altman рекомендуют (Bland et al. 1986) строить логарифмический график (Xm/Ym). На таком графике вместо Xa и Ya по осям координат соответственно откладываются величины Xm = (Log(A) + Log(B))/2 и Ym = Log(A) – Log(B). График Xa/Ya показывает аддитивные отношения между переменными X и Y, а график Xm/Ym — логарифмические (мультипликативные).

Графики Xa/Ya и Xm/Ym позволяют оценить влияние систематических компонент — чем оно больше, тем выше степень рассогласования исходных X и Y. Наличие систематических влияний выражается в том, что угол (1) наклона линии регрессии на графиках Xa/Ya и Xm/Ym будет значимо отличаться от 0, или (2) точки на графике выйдут за пределы 95 % границ предсказанных по уравнению регрессии значений. В случае (1) это происходит по причинам, которые зависят от природы самих показателей X и Y, а в случае (2) причиной будет влияние сторонних факторов. Поскольку УП измеряются как в положительном, так и в отрицательном диапазоне, то для построения графика Xm/Ym использовались «сдвинутые» величины УП, которые были равны значениям «сырых» УП + 20 мВ.

Для сравнения показателей двух групп детей использовался U-критерий Манна — Уитни. Мощностность используемых статистических критериев (в том числе расчет уровня значимости всех показателей линейной регрессии) определялась с помощью программы G*Power ver. 3 (которая была любезно предоставлена авторам для научных исследований разработчиками из Universität Düsseldorf), уровни критериев были заданы: статистическая ошибка I рода $\alpha = 0,05$ и II рода $\beta = 0,20$. Таким образом, при изначально заданной величине Power = $1 - \beta = 0,80$ полученная (с учетом Power) значимость результата на уровне $p \leq \alpha$ говорит о том, что для данного критерия вывод основан на достаточном количестве испытуемых (Faul et al. 2007, 175). Границы 95 % доверительных интервалов на графиках линейной регрессии определялись как $M \pm (1,96 \cdot SD)$ (M — среднее, SD — стандартное отклонение).

Результаты и их обсуждение

Регрессионный анализ по всему изучаемому набору переменных показывает, что возраст детей не входит в уравнения регрессии других показателей, поэтому далее анализ проводился без разбивки по возрасту. Поскольку доли детей с диагнозами ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития и с сочетанием ОНР и ЗПР не отличаются среди мальчиков и девочек ($p > 0,05$), то были сделаны сводные расчеты по полу и по диагнозам. В таблице 1 даны показатели линейной регрессии по графикам X/Y, Xa/Ya и Xm/Ym. Из нее следует, что статистически значимых различий между данными показателями у мальчиков и девочек нет. УП в правом полушарии у детей с диагнозом ОНР 2-го и 3-го уровня речевого развития был выше, чем у детей с сочетанием ОНР и ЗПР ($+0,9 > -4,2$). Согласно классификации состояний, представленной выше, негативные значения УП свидетельствуют о большей активности полушария, и чем больше активность приближается к 0, тем меньше уровень активации структуры. Следовательно, активность правого полушария у детей только с одним диагнозом ниже, чем у детей с сочетанием двух диагнозов. Но у обеих групп детей значения существенно отличаются от таковых для нормы, представленных в классификации В. А. Илюхиной.

На графиках X/Y во всех группах есть тесная корреляционная связь (величина r от +0,81 до +0,94) между значениями устойчивого потенциала в разных полушариях, которая описывает от 66 до 88 % общей дисперсии.

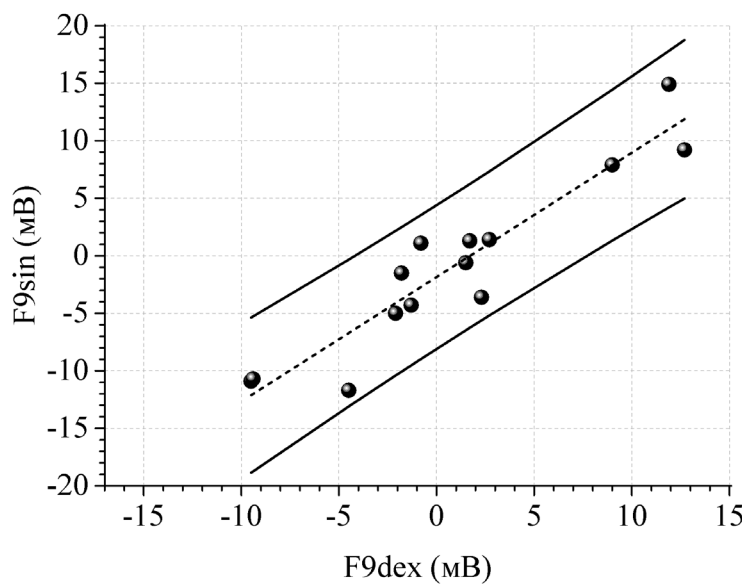


Рис. 1. График X/Y Блэнда — Алмана для детей с диагнозами ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития. Шариками даны показатели детей, пунктиром показана линия регрессии, сплошными линиями обозначены границы 95 % доверительной области

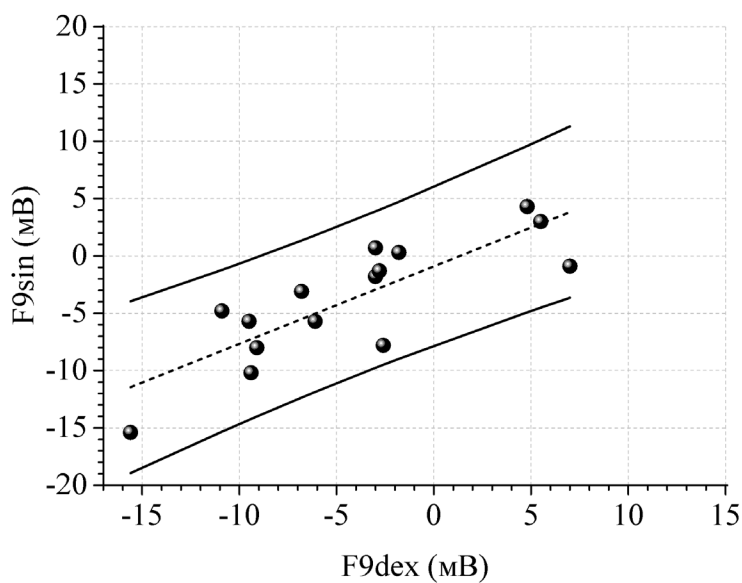


Рис. 2. График X/Y Блэнда — Алмана для детей с сочетанием диагнозов ОНР и ЗПР. Шариками даны показатели детей, пунктиром показана линия регрессии, сплошными линиями обозначены границы 95 % доверительной области

Табл. 1. Показатели линейной регрессии для областей F9 dex (X) и F9 sin (Y)

Пол, диагноз	Мальчики	Девочки	ОНР	ОНР+ЗПР
N, чел; (возраст, лет)	18 (5,4 ± 1,2)	11 (5,5 ± 1,1)	14 (5,4 ± 1,1)	15 (5,5 ± 1,2)
(X) F9 dex, мВ	-0,2 ± 6,9	-4,3 ± 6,6	+0,9 ± 6,8×	-4,2 ± 6,4
(Y) F9 sin, мВ	-1,1 ± 6,8	-4,5 ± 6,1	-0,9 ± 7,8	-3,8 ± 5,2
X/Y Pearson's r	+0,90231•	+0,81231•	+0,94016•	+0,82786•
X/Y R-Square	0,81416	0,65986	0,88391	0,68535
X/Y Intercept	-0,90392	-1,28269	-1,85	-0,90732
X/Y Slope	+0,88769	+0,7477	+1,08064	+0,67599
Xa/Ya Pearson's r	+0,03786	+0,14087	-0,37938	+0,34186
Xa/Ya R-Square	0,00143	0,01984	0,14393	0,11687
Xa/Ya Intercept	0,89407	0,59516	1,77806	0,42092
Xa/Ya Slope	0,01717	0,0914	-0,1433	0,22078
Xm/Ym Pearson's r	-0,05602	+0,08259	-0,53074•*	+0,2383*
Xm/Ym R-Square	0,00314	0,00682	0,28169***	0,05679***
Xm/Ym Intercept	0,05331	-0,05881	0,37011	-0,16954
Xm/Ym Slope	-0,0256	+0,05188	-0,25**	+0,12528**

Примечание. Возраст и УП даны в формате среднее ± SD; sin — левое полушарие, dex — правое полушарие; • — модуль коэффициента корреляции больше 0 ($p < 0,05$); × — УП в правом полушарии у детей с диагнозом ОНР выше, чем у детей с сочетанием ОНР и ЗПР ($p < 0,05$); * — коэффициент корреляции для детей с диагнозом ОНР по абсолютному значению меньше такового для детей с сочетанием ОНР и ЗПР ($p < 0,05$); ** — угол наклона линии регрессии для детей с диагнозом ОНР меньше такового для детей с сочетанием ОНР и ЗПР ($p < 0,05$); *** — доля дисперсии, описываемая корреляционной связью в графике Xm/Ym у детей с диагнозом ОНР, больше таковой для детей с сочетанием ОНР и ЗПР ($p < 0,05$). Уровень значимости оценивался с помощью U-критерия Манна — Уитни.

На рисунках 1 и 2 дано сравнение детей с диагнозами ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития и детей с сочетанием ОНР и ЗПР. При этом величины углов наклона линии регрессии не имеют значимых различий между собой.

Из табл. 1 аддитивные различия между группами статистически не значимы. При этом ло-

гарифмические отношения между показателями левого и правого полушария позволяют явить статистически значимое различие между двумя исследуемыми группами. Именно это иллюстрируется рисунках 3 и 4.

На рисунке 3 графики Xm/Ym у детей с диагнозом ОНР 2-го и 3-го уровней речевого раз-

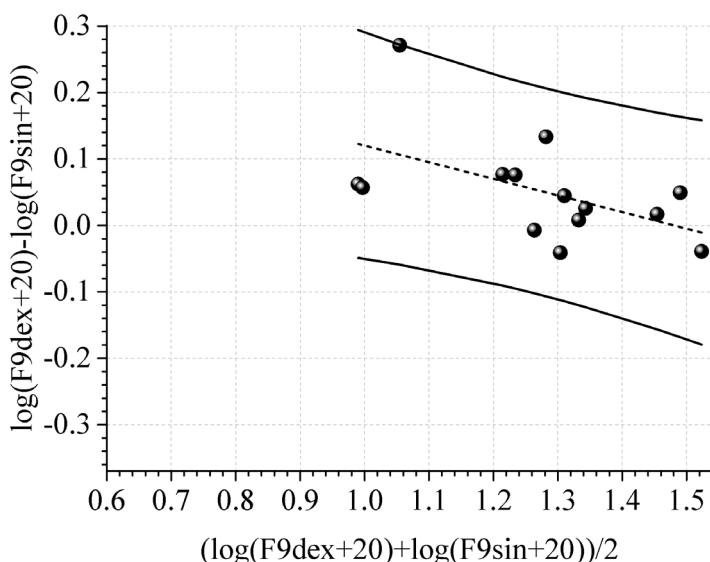


Рис. 3. График Хм/Ум Блэнда — Алтмана для детей с диагнозами ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития. Шариками даны показатели детей, пунктиром показана линия регрессии, сплошными линиями обозначены границы 95% доверительной области

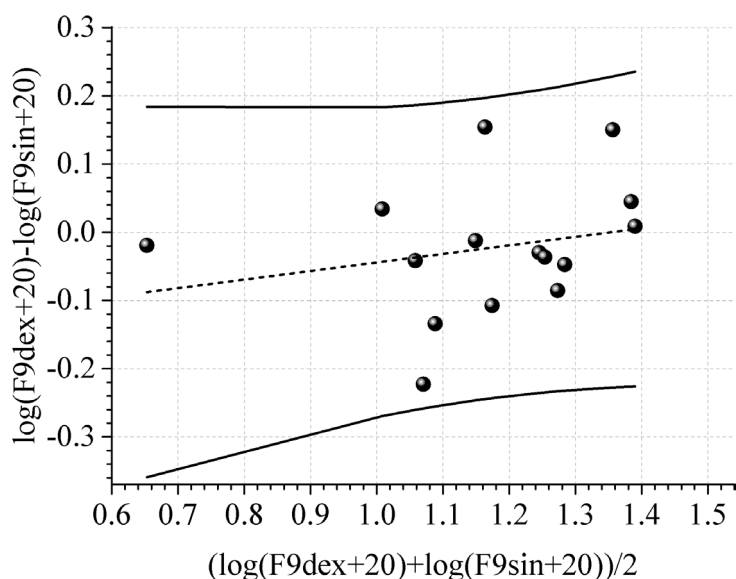


Рис. 4. График Хм/Ум Бленда — Алтмана для детей с сочетанием диагнозов ОНР и ЗПР. Шариками даны показатели детей, пунктиром показана линия регрессии, сплошными линиями обозначены границы 95% доверительной области

вития есть тесная корреляционная связь между значениями разностей и полусумм логарифмов устойчивого потенциала в разных полушариях, которая описывает 28% общей дисперсии (это значимо больше, чем 6% общей дисперсии у детей с сочетанием ЗПР и ОНР). При этом величина угла наклона линии регрессии для детей с диагнозом ОНР (-0,25) меньше таковой (+0,13) для детей с сочетанием ЗПР и ОНР (рис. 4).

Отрицательное значение коэффициента корреляции по графику Хм/Ум для детей с диагнозом ОНР свидетельствует о том, что согласованность УП в полушариях (в понятиях Бленда — Алтмана, описанных выше) у них максимальна при положительных значениях и минимальна — при отрицательных. Следовательно, в покое отмечается больший уровень согласованности активности полушарий, тогда как изменение состояния влечет за собой снижение уровня этой согласованности. У детей с сочетанием ОНР и ЗПР нет изменений в уровне согласованности активности полушарий при переходе из одного состояния в другое. Качественный вывод подтверждается значимыми различиями между полусуммами логарифмов УП по полушариям группы ОНР ($1,32 \pm 0,14$) и группы с сочетанием ОНР и ЗПР ($1,15 \pm 0,23$) при $p = 0,010$ (U -критерий). Эти полусуммы отложены по осям абсцисс на рисунках 3 и 4.

Большой разброс средних показателей не позволяет сделать вывод о внутригрупповых различиях в активации полушарий у детей. Более высокая активность правого полушария у детей с сочетанием ОНР и ЗПР по отношению

к детям только с ОНР может быть косвенным свидетельством более глубокого снижения активности левого полушария и как следствие — более глубоких нарушений когнитивных функций детей этой группы (Bishop 2013, 1230531). Возможно, дополнительным свидетельством этого служит и отсутствие изменений во взаимодействии полушарий при переходе из одного состояния в другое. Наши данные в большей мере соответствуют гипотезе о меньшей латерализации мозговых функций у детей с речевыми расстройствами, поскольку ни в одной из групп мы не можем выявить выраженных различий в активации одного из полушарий (Badcock et al. 2012, 310; De Guibert et al. 2011, 3044; Dehaene-Lambertz et al. 2008, 399).

В настоящее время известно, что латерализация периферическая и центральная связаны с особенностью кровоснабжения мозга (van Vuuren et al. 2017, 377), хотя нет доказательств причинности этой связи. Тем не менее можно предположить, что отсутствие или снижение латерализации мозговых функций у детей с речевыми нарушениями может быть связано неким образом с недостаточным кровоснабжением ведущего по речи левого полушария и, как следствие, снижением оксигенации соответствующих структур. Однако это требует дополнительного исследования.

Наши данные свидетельствуют о том, что отличие детей с ОНР 2–3-го уровней речевого развития от детей с сочетанием ОНР и ЗПР состоит не столько в различии активности полушарий головного мозга, сколько в типах их

взаимодействия при переходных состояниях: наличии актуальных изменений в случае только ОНР и отсутствии изменений в случае ОНР в сочетании с ЗПР.

2. У детей с сочетанием ОНР и ЗПР активность правого полушария по показателям УП значимо выше по сравнению с детьми только с ОНР 2-го и 3-го уровней речевого развития.

Выводы

1. У детей с ОНР 2-го и 3-го уровней в покое отмечается более высокий уровень согласованности активности лобных областей правого и левого полушарий по показателям УП, чем у детей с ОНР и ЗПР, а сдвиг функционального состояния влечет за собой снижение уровня этой согласованности. У детей с сочетанием ОНР и ЗПР изменения уровня согласованности активности полушарий в этих зонах при переходе из одного состояния в другое не выявлены.

Благодарности

Авторы выражают благодарность М. Н. Кривошаповой за помощь в сборе данных.

Acknowledgements

The authors are grateful to Maria N. Krivoshapova for her assistance in data collection.

Литература

- Буторина, А. В., Шестакова, А. Н., Николаева, А. Ю. и др. (2012) Функциональное картирование речевых зон мозга человека: перспективы использования метода магнитоэнцефалографии (МЭГ). *Современная зарубежная психология*, № 1, с. 103–114. DOI: 10.17759/jmfp
- Валявко, С. М. (2016) Феноменология общего недоразвития речи и проблемы мультидисциплинарного взаимодействия. *Коррекционная педагогика: теория и практика*, № 2 (68), с. 30–39.
- Вайнер, Б. Г., Вергунов, Е. Г., Сергеевичев, Д. С. (2016) Согласованность ритмов дыхания и сердца у экспериментальных животных при разном составе дыхательной смеси. *Вестник психофизиологии*, № 4, с. 24–33.
- Вергунов, Е. Г., Вайнер, Б. Г. (2016) Модификация метода Блэнда — Алтмана и ее применение для оценки согласованности сердечного и дыхательного ритмов. *Вестник психофизиологии*, № 4, с. 34–45.
- Илюхина, В. А. (2012) Мозг человека. Волновая организация и психическое отражение. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 315 с.
- Фокин, В. Ф., Пономарева, Н. В. (2003) Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор, 288 с.
- Фокин, В. Ф., Пономарева, Н. В., Кротенкова, М. В. и др. (2012) 2 паттерна КТ-перфузии и медленной электрической активности головного мозга, вызываемые когнитивной нагрузкой у больных дисциркуляторной энцефалопатией. *Вестник Российской академии медицинских наук*, т. 67, № 10, с. 38–43. DOI: 10.15690/vramn.v67i10.414
- Altman, D. G. (1991) *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall, 611 p.
- Badcock, N. A., Bishop, D. V. M., Hardiman, M. J. et al. (2012) Co-localisation of abnormal brain structure and function in specific language impairment. *Brain and Language*, vol. 120, no. 3, pp. 310–320. DOI: 10.1016/j.bandl.2011.10.006
- Bland, J. M., Altman, D. G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, vol. 1, no. 8476, pp. 307–310. PMID: 2868172
- Bishop, D. V. M. (2013) Cerebral asymmetry and language development: cause, correlate or consequence? *Science*, vol. 340, no. 6138, art. 1230531. DOI: 10.1126/science.1230531
- De Guibert, C., Maumet, C., Jannin, P. et al. (2011) Abnormal functional lateralization and activity of language brain areas in typical specific language impairment (developmental dysphasia). *Brain*, vol. 134, no. 10, pp. 3044–3058. DOI: 10.1093/brain/awr141
- Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L., Dubois, J., Dehaene, S. (2008) How does early brain organization promote language acquisition in humans? *European Review*, vol. 16, no. 4, pp. 399–411. DOI: 10.1017/S1062798708000513
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., Buchner, A. (2007) G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behaviour Research Methods*, vol. 39, no. 2, pp. 175–191. PMID: 17695343
- Hodgson, J. C., Hudson, J. M. (2017) Measurement reliability of atypical language lateralisation assessed using functional transcranial Doppler ultrasound. *Biological Psychology*, vol. 125, pp. 173–176. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2017.03.008
- Kalmady, S. V., Agarwal, S. M., Shivakumar, V. et al. (2013) Revisiting Geschwind's hypothesis on brain lateralisation: a functional MRI study of digit ratio (2D:4D) and sex interaction effects on spatial working memory. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 18, no. 5, pp. 625–640. DOI: 10.1080/1357650X.2012.744414

- Kang, X., Herron, T. J., Ettliger, M., Woods, D. L. (2015) Hemispheric asymmetries in cortical and subcortical anatomy. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 20, no. 6, pp. 658–684. DOI: 10.1080/1357650X.2015.1032975
- Krivoshchapova, M. N., Ilyukhina, V. A. (2006) Age-related specificity of the frontal and temporoparietal cortex activation levels in three- to seven-year-old children. *Human Physiology*, vol. 32, no. 1, pp. 47–58. DOI: 10.1134/S0362119706010075
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M. et al. (2013) Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 110, no. 12, pp. 4846–4851. DOI: 10.1073/pnas.1212220110
- McCulloch, K., Lachner Bass, N., Dial, H. et al. (2017) Interaction of attention and acoustic factors in dichotic listening for fused words. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 22, no. 4, pp. 473–494. DOI: 10.1080/1357650X.2016.1219361
- Mellet, E., Jobard, G., Zago, L. et al. (2013) Relationships between hand laterality and verbal and spatial skills in 436 healthy adults balanced for handedness. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 19, no. 4, pp. 383–404. DOI: 10.1080/1357650X.2013.796965
- Moon, C., Lagercrantz, H., Kuhl, P. K. (2013) Language experienced in-utero affects vowel perception after birth: a two-country study. *Acta Paediatrica*, vol. 102, no. 2, pp. 156–160. DOI: 10.1111/apa.12098
- Nikolaeva, E. I., Leutin, V. P. (2011) *Functional brain asymmetry: myth and reality. Psychophysiological analysis of the contradictory hypotheses in functional brain asymmetry*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 343 p.
- Ocklenburg, S., Hirnstein, M., Beste, Ch., Güntürkün O. (2014) Lateralization and cognitive system. *Frontiers in Psychology*, vol. 5, art. 1143. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01143
- Pena, M., Maki, A., Kovacic, D. D. et al. (2003) Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 100, no. 20, pp. 11702–11705. DOI: 10.1073/pnas.1934290100
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P. et al. (2011) Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 108, no. 38, pp. 16056–16061. DOI: 10.1073/pnas.1102991108
- Price, C. J. (2012) A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, vol. 62, no. 2, pp. 816–847. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.04.062
- Ramus, F. (2014) Neuroimaging sheds new light on the phonological deficit in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 18, no. 6, pp. 274–275. DOI: 10.1016/j.tics.2014.01.009
- Sun, Y. F., Lee, J. S., Kirby, R. (2010) Brain imaging findings in dyslexia. *Pediatrics & Neonatology*, vol. 51, no. 2, pp. 89–96. DOI: 10.1016/s1875-9572(10)60017-4
- van Vuuren A. J., Saling, M. M., Ameen, O. et al. (2017) Hand preference is selectively related to common and internal carotid arterial asymmetry. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 22, no. 4, pp. 377–398. DOI: 10.1080/1357650X.2016.1205596
- Werker, J. F., Hensch, T. K. (2015) Critical Periods in Speech Perception: New Directions. *Annual Review of Psychology*, vol. 66, pp. 173–96. DOI: 10.1146/annurev-psych-010814-015104

References

- Altman, D. G. (1991) *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall, 611 p. (In English)
- Badcock, N. A., Bishop, D. V. M., Hardiman, M. J. et al. (2012) Co-localisation of abnormal brain structure and function in specific language impairment. *Brain and Language*, vol. 120, no. 3, pp. 310–320. DOI: 10.1016/j.bandl.2011.10.006 (In English)
- Bland, J. M., Altman, D. G. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, vol. 1, no. 8476, pp. 307–310. PMID: 2868172 (In English)
- Bishop, D. V. M. (2013) Cerebral asymmetry and language development: cause, correlate or consequence? *Science*, vol. 340, no. 6138, art. 1230531. DOI: 10.1126/science.1230531 (In English)
- Butorina, A. V., Shestakova, A. N., Nikolaeva, A. Yu. et al. (2012) Функциональное картирование речевых зон мозга человека: перспективы использования метода магнитоэнцефалографии (MEHG) [Functional mapping of speech areas of the human brain: prospects of using the method of magnetoencephalography (MEG)]. *Sovremennaya zarubezhnaya psikhologiya — Modern foreign psychology*, vol. 1, no. 1, pp. 103–114. DOI: 10.17759/jmfp (In Russian)
- De Guibert, C., Maumet, C., Jannin, P. et al. (2011) Abnormal functional lateralization and activity of language brain areas in typical specific language impairment (developmental dysphasia). *Brain*, vol. 134, no. 10, pp. 3044–3058. DOI: 10.1093/brain/awr141 (In English)
- Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L., Dubois, J., Dehaene, S. (2008) How does early brain organization promote language acquisition in humans? *European Review*, vol. 16, no. 4, pp. 399–411. DOI: 10.1017/S1062798708000513 (In English)
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., Buchner, A. (2007) G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behaviour Research Methods*, vol. 39, no. 2, pp. 175–191. PMID: 17695343 (In English)
- Fokin, V. F., Ponomareva, N. V. (2003) *Energeticheskaya fiziologiya mozga [Energetic physiology of the brain]*. Moscow: Antidor Publ., 288 p. (In Russian)

- Fokin, V. E., Ponomareva, N. V., Krotchenkova, M. V. et al. (2012) 2 patterna KT-perfuzii i medlennoj elektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga, vyzvaemye kognitivnoj nagruzkoj u bol'nyh distsirkulyatornoj entsefalopatiej [2 pattern CT-perfusion and slow electrical activity of the brain, called the cognitive load in patients with discirculatory encephalopathy]. *Vestnik Rossijskoj akademii meditsinskih nauk — Annals of the Russian academy of medical sciences*, vol. 67, no. 10, pp. 38–43. DOI: 10.15690/vramn.v67i10.414 (In Russian)
- Hodgson, J. C., Hudson, J. M. (2017) Measurement reliability of atypical language lateralisation assessed using functional transcranial Doppler ultrasound. *Biological Psychology*, vol. 125, pp. 173–176. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2017.03.008 (In English)
- Ilyuhina, V. A. (2012) *Mozg cheloveka. Volnovaya organizatsiya i psikhicheskoe otrazhenie [The human brain. Wave organization and mental reflection]*. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 315 p. (In Russian)
- Kalmady, S. V., Agarwal, S. M., Shivakumar, V. et al. (2013) Revisiting Geschwind's hypothesis on brain lateralisation: a functional MRI study of digit ratio (2D:4D) and sex interaction effects on spatial working memory. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 18, no. 5, pp. 625–640. DOI: 10.1080/1357650X.2012.744414 (In English)
- Kang, X., Herron, T. J., Ettliger, M., Woods, D. L. (2015) Hemispheric asymmetries in cortical and subcortical anatomy. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 20, no. 6, pp. 658–684. DOI: 10.1080/1357650X.2015.1032975 (In English)
- Krivoshchapova, M. N., Ilyukhina, V. A. (2006) Age-related specificity of the frontal and temporoparietal cortex activation levels in three-to seven-year-old children. *Human Physiology*, vol. 32, no. 1, pp. 47–58. DOI: 10.1134/S0362119706010075 (In English)
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M. et al. (2013) Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 110, no. 12, pp. 4846–4851. DOI: 10.1073/pnas.1212220110 (In English)
- McCulloch, K., Lachner Bass, N., Dial, H. et al. (2017) Interaction of attention and acoustic factors in dichotic listening for fused words. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 22, no. 4, pp. 473–494. DOI: 10.1080/1357650X.2016.1219361 (In English)
- Mellet, E., Jobard, G., Zago, L. et al. (2013) Relationships between hand laterality and verbal and spatial skills in 436 healthy adults balanced for handedness. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 19, no. 4, pp. 383–404. DOI: 10.1080/1357650X.2013.796965 (In English)
- Moon, C., Lagercrantz, H., Kuhl, P. K. (2013) Language experienced in-utero affects vowel perception after birth: a two-country study. *Acta Paediatrica*, vol. 102, no. 2, pp. 156–160. DOI: 10.1111/apa.12098 (In English)
- Nikolaeva, E. I., Leutin, V. P. (2011) *Functional brain asymmetry: myth and reality. Psychophysiological analysis of the contradictory hypotheses in functional brain asymmetry*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 343 p. (In English)
- Ocklenburg, S., Hirnstein, M., Beste, Ch., Güntürkün O. (2014) Lateralization and cognitive system. *Frontiers in Psychology*, vol. 5, art. 1143. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01143 (In English)
- Pena, M., Maki, A., Kovacic, D. D. et al. (2003) Sounds and silence: an optical topography study of language recognition at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 100, no. 20, pp. 11702–11705. DOI: 10.1073/pnas.1934290100 (In English)
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P. et al. (2011) Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, vol. 108, no. 38, pp. 16056–16061. DOI: 10.1073/pnas.1102991108 (In English)
- Price, C. J. (2012) A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *NeuroImage*, vol. 62, no. 2, pp. 816–847. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.04.062 (In English)
- Ramus, F. (2014) Neuroimaging sheds new light on the phonological deficit in dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 18, no. 6, pp. 274–275. DOI: 10.1016/j.tics.2014.01.009 (In English)
- Sun, Y. F., Lee, J. S., Kirby, R. (2010) Brain imaging findings in dyslexia. *Pediatrics & Neonatology*, vol. 51, no. 2, pp. 89–96. DOI: 10.1016/s1875-9572(10)60017-4 (In English)
- Vajner, B. G., Vergunov, E. G., Sergeevichev, D. S. (2016) Soglasovannost' ritmov dykhaniya i serdtsa u eksperimental'nyh zhivotnykh pri raznom sostave dyhatel'noj smesi [The consistency of the rhythms of breathing and heart from the experimental animals at different composition of the breathing mixture]. *Vestnik psikhofiziologii — Psychophysiology News*, № 4, pp. 24–33. (In Russian)
- van Vuuren A. J., Saling, M. M., Ameen, O. et al. (2017) Hand preference is selectively related to common and internal carotid arterial asymmetry. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, vol. 22, no. 4, pp. 377–398. DOI: 10.1080/1357650X.2016.1205596 (In English)
- Valyavko, S. M. (2016) Fenomenologiya obshchego nedorazvitiya rechi i problemy mul'tidisciplinarnogo vzaimodejstviya [Phenomenology of General underdevelopment of speech and problems of multidisciplinary interaction]. *Korrektzionnaya pedagogika: teoriya i praktika*, № 2 (68), pp. 30–39. (In Russian)
- Vergunov, E. G., Vajner, B. G. (2016) Modifikatsiya metoda Blenda-Altmana i ee primenenie dlya otsenki soglasovannosti serdechnogo i dykhatel'nogo ritmov [Modification of the method of bland-Altman and its application to assess the consistency of cardiac and respiratory rhythms]. *Vestnik psikhofiziologii — Psychophysiology News*, № 4, pp. 34–45. (In Russian)
- Werker, J. F., Hensch, T. K. (2015) Critical Periods in Speech Perception: New Directions. *Annual Review of Psychology*, vol. 66, pp. 173–96. DOI: 10.1146/annurev-psych-010814-015104 (In English)