



Система диагностики расстройства проведения и обработки акустических сигналов в структурах ствола мозга и специфические проблемы школьного обучения

В.Л. Ефимова, В.П. Рожков, Н.А. Рябчикова

Представлены результаты анализа параметров акустических стволовых вызванных потенциалов, характеризующих время проведения и обработки информации в структурах слухового тракта ствола мозга у учащихся младших классов, имеющих и не имеющих специфические проблемы школьного обучения.

Ключевые слова: дети и подростки, проблемы обучения, слуховые стволовые вызванные потенциалы.

The article presents the results of the analysis of the parameters of brainstem acoustic evoked potentials characterizing the time of carrying out and processing information in the structures of the auditory tract of the brainstem in students of lower grades who have and do not have specific problems of learning.

Keywords: children, adolescents, learning difficulties, brainstem auditory evoked potentials.

Специфические расстройства формирования школьных навыков характеризуются значительными трудностями обучения детей чтению, письму и счетным операциям. По результатам исследований готовности первоклассников к школьному обучению, проведенному Российской академией образования (РАО) в 15 регионах России, у 15–20% детей недостаточно сформированы предпосылки к учебной деятельности. Трудности с освоением навыков письма выявлены у 50% учащихся первого класса, нарушения звукопроизношения – у 23% детей, трудности в общении – у 10–15% детей [1].

Этиология указанных специфических расстройств формирования школьных навыков не установлена. В возникновении нарушений принимают участие как биологические, так и социально-психологические факторы. На одном из первых мест стоит наследственность, когда у ближайших родственников отмечались проблемы, связанные с письмом, чтением или особенностями речевого развития. Специфические расстройства обучения в большинстве случаев не являются прямым следствием поражения центральной нервной системы (ЦНС), однако часто сочетаются с синдромом гиперактивности и дефицитом внимания, специфическими нарушениями развития двигательных функций [2].

© Авторы, 2017
© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

**Виктория Леонидовна
Ефимова –**

к.п.н., зам. директора по науке,
группа клиник «Прогноз»
(Санкт-Петербург)

E-mail: prefish@ya.ru

**Владимир Павлович
Рожков –**

к.б.н., вед. науч. сотрудник,
Институт эволюционной
физиологии и биохимии
им. И.М. Сеченова РАН
(Санкт-Петербург)

E-mail: vlrozhkov@mail.ru

**Наталья Афанасьевна
Рябчикова –**

д.б.н., ст. науч. сотрудник,
кафедра высшей нервной деятельности,
биологический факультет,
Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

E-mail: nat@guestest.ru



В настоящее время изучение проблемы дислексии базируется на теории фонологического дефицита. Согласно этим представлениям, дети с дислексией имеют проблемы с акустико-фонематическим анализом звуков речи (фонологическим анализом), и это ведет к возникновению проблем с чтением [3]. Исследования дислексии, проводимые с использованием функциональной магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, диффузионной тензорной визуализации, выявляют как атипичную организацию «языковых» нервных сетей полушарий мозга и волоконной системы – структур белого вещества головного мозга, так и дисфункцию церебеллярных механизмов, а также нарушения в системе магноцеллюлярных путей для зрения и слуха [3–5].

Характерными для детей с расстройствами формирования школьных навыков является наличие задержек или отклонений в развитии речи в дошкольном периоде [6]. У детей с нарушением развития речевых функций обнаруживаются трудности в различении акустических сигналов вследствие нарушений кодирования спектральной и временной информации, необходимых для правильного восприятия звуков, затруднено выделение речи из шума, восприятие быстрых изменений в звуковых паттернах [7]. То есть нарушениями оказываются базовые сенсорные функции, обеспечиваемые слуховыми механизмами на уровне ствола мозга, что может быть подтверждено данными оценки акустических стволовых вызванных потенциалов (АСВП) [8].

Сведения о различиях параметров стандартных АСВП (на щелчки) и времени центрального проведения у детей с нарушениями развития речи в сравнении с детьми с нормальным речевым развитием противоречивы. Использование более сложных (речеподобных) звуковых стимулов позволило увеличить частоту обнаружения нарушений процессов обработки акустических стимулов на уровне стволовых отделов мозга у детей с нарушениями речевого развития [9, 10]. Относительно высокий процент (от 72 до 85%) обнаружения признаков замедления (нарушения) центрального проведения у детей с расстройствами аутистического спектра и речевого развития был выявлен в результате применения авторами модифицированной стандартной методики АСВП со стимуляцией короткими тональными посылками [11].

Цель работы – выяснение того, насколько часто у детей с проблемами обучения (специфическими расстройствами формирования школьных навыков) выявляются нарушения обработки слуховой информации на уровне слуховых центров и трактов ствола мозга по данным АСВП.

Поскольку предлагаются различные способы медико-педагогической и логопедической коррекции расстройств как речевого развития, так и формирования специфических школьных навыков, различение этиологических факторов, обуславливающих эти нарушения, будет способствовать направленному выбору реабилитационных мероприятий на базе объективной ранней диагностики.

Методика

Контингент обследуемых. Методом АСВП обследованы 36 мальчиков и 18 девочек от 7 до 15 лет ($m \pm sd = 9,6 \pm 1,9$) со специфическими трудностями в обучении (learning disabilities, LD), у которых основные нарушения были связаны с восприятием речи, дислексией, дисграфией, дискалькулией. Все дети имели предварительно установленные диагнозы (F81.0-3 по МКБ-10) и не имели нарушений слуха. Обследование АСВП у детей клинической группы выполнено в качестве диагностической процедуры по направлению невролога. Контрольная группа состояла из 19 мальчиков и 16 девочек от 6 до 16 лет ($m \pm sd = 8,9 \pm 2,2$) без неврологической патологии и нарушений речевого развития (в том числе в анамнезе). Они обследованы на основании письменного согласия родителей, которые были информированы о целях и условиях обследования. Различия по возрасту детей контрольной и клинической группы незначимы ($t = 1,58, p = 0,12$).

Регистрация АСВП. Регистрировали АСВП при помощи анализатора «NicoletVikingsselect™» (VIASYSHealthscareInc, USA). Использовали отведения: сосцевидный отросток слева и справа – вертекс. Чашечковые хлорсеребряные электроды фиксировали с использованием адгезивной кондуктивной пасты, заземляющий электрод размещали в точке Fpz. Добивались, чтобы межэлектродное сопротивление не превышало 4 кОм. Суммировали по 500–1000 вызванных ответов (каждый длительностью 12 мс) без трасс, содержащих артефакты (с их автоматической режекци-

ей при превышении порога амплитудной дискриминации 30...40 мВ). Полосу пропускания сигналов устанавливали в пределах от 100 до 3000 Гц.

Во время регистрации вызванных потенциалов ребенок располагался в кресле. У всех детей клинической и контрольной групп с целью стандартизации условий стимуляции перед регистрацией АСВП определяли слуховые пороги восприятия щелчка для левого и правого уха.

В качестве «стандартного» стимула использовали щелчок (полярность – разрежение) длительностью 0,1 мс и интенсивностью 70 дБ уровня слуха. Измеряли пиковые латентности и амплитуды пиков I, III, V в ипсилатеральном по отношению к стимулируемому уху отведении. Амплитуду измеряли от максимума позитивной до максимума последующей негативной волны. Вычисляли «время центрального проведения» (величины интервалов между волнами I-III, III-V, I-V).

Для регистрации пика VI использовали модифицированный стимул – короткую тональную посылку (toneburst, Blackman window) с частотой заполнения 4000 Гц, длительностью плато – 0,5 мс, переднего фронта – 0,5 мс, интенсивностью 70 дБ выше порога слуха. Идентификацию пика VI осуществляли с учетом выявления пиков III и V при стандартной стимуляции. На анализируемой трассе при модифицированной стимуляции на стороне предъявления определяли доминирующий пик V. Следующее за ним позитивное отклонение считали пиком VI и определяли его пиковую латентность. Стимулы предъявляли при помощи головных телефонов (TDH 39) отдельно в левое и правое ухо с частотой 10,1 Гц. Усредняли от 500 до 1000 предъявлений с левой и правой стороны.

Исследования АСВП проведены на базе неврологической клиники «Прогноз» (Санкт-Петербург).

Статистический анализ. Статистическую обработку осуществляли с использованием пакета Statistica 6.0 for Windows. Оценивали параметры (средние, стандартные отклонения) распределений величин латентных периодов пиков и межпиковых интервалов АСВП. Различия средних, а также выборочных долей оценивали по *t*-критерию Стьюдента; значимыми считали различия при $p < 0,05$. Использовали дискриминантный анализ, по результатам которого составляли матрицы классификации и оценивали вероятность

правильной классификации детей каждой из клинической и контрольной групп по величине латентности пика VI АСВП.



Результаты и обсуждение

Слуховые пороги на щелчок при стимуляции левого и правого уха у детей контрольной и клинической групп не превышали 20 дБ НЛ. Обязательным условием включения в каждую из групп было наличие в АСВП при стандартных условиях стимуляции хорошо различимых пиков I, III и V. При этом условия волна VI (при применении в качестве раздражителя короткого тонального стимула) выявлена в контрольной группе при стимуляции левого уха у 34 из 35 детей, при стимуляции правого уха – у 33 из 35 детей. В клинической группе волна VI выявлена с левой стороны у 46 из 54 детей (отсутствовала у 9 детей), с правой стороны выявлена у 47 детей (отсутствовала у 7 детей), причем у 4-х детей волна VI отсутствовала при стимуляции как левого, так и правого уха. Вероятность отсутствия волны при стимуляции левого или правого уха в контрольной группе – 4%, в клинической группе – 15%, различия между группами значимы ($p = 0,02$).

Статистическая связь между возрастом детей от 6 до 15 лет и величиной межпиковых интервалов I-III, III-V, I-V, а также латентностью пика VI незначима как в контрольной ($p > 0,06$), так и в клинической группе ($p > 0,26$), поэтому средние значения временных параметров АСВП и их стандартные отклонения оценивали и сопоставляли в контрольной и клинической группах без деления на возрастные подгруппы. Статистические сведения о средних по группам значениях величин межпиковых интервалов и латентности волны VI приведены в таблице.

Различия величин межпиковых интервалов I-III, III-V, I-V для детей контрольной и клинической групп незначимы ($p > 0,26$). Если принять за условную верхнюю границу нормы для межпикового интервала I-V величину 4,4 мс, то превышение этой величины, по крайней мере с одной стороны, в контрольной группе обнаружилось у 4 (11%) детей, в клинической группе – у 15 (28%) детей (различия между группами незначимы, $p = 0,058$). При этом превышение порогового значения одновременно с правой и левой сторон в контрольной группе не выявлено, в клинической группе отмечено у 5 детей.



Таблица. Параметры АСВП ($m \pm sd$, мс) у школьников контрольной и клинической групп

Показатель АСВП	Контрольная группа		Клиническая группа	
	Левая сторона	Правая сторона	Левая сторона	Правая сторона
Интервал I-III	212,0 ± 17,1	209,4 ± 23,4	214,8 ± 17,3	218,7 ± 17,9
Интервал III-V	193,9 ± 14,1	200,5 ± 18,0	200,5 ± 18,4	197,8 ± 17,8
Интервал I-V	404,7 ± 22,5	412,2 ± 23,5	415,3 ± 25,9	417,2 ± 22,1
Латентность пика VI	722,6 ± 19,5	723,4 ± 20,7	782,8 ± 51,5	781,8 ± 53,1

Средние величины латентности пика VI у детей контрольной группы были значимо меньше, чем в клинической группе: $t = 4,5$, $p < 0,001$ для левой и $t = 4,5$, $p < 0,001$ для правой стороны.

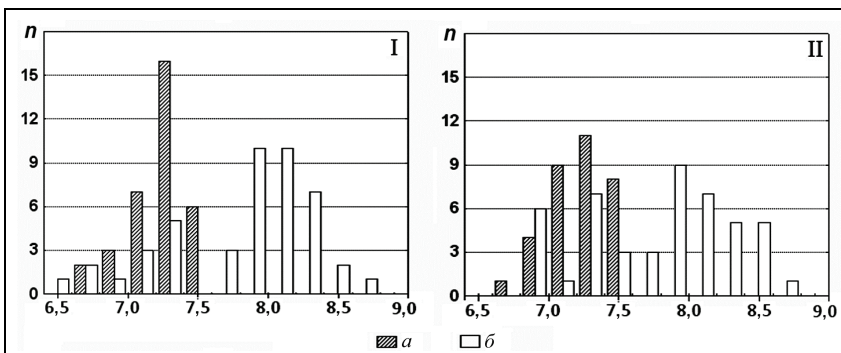
На рисунке представлены гистограммы распределения величин пиковой латентности волны VI у детей контрольной и клинической групп. У всех детей контрольной группы при стимуляции как с левой, так и правой стороны латентность пика VI не превышала 750 мс. Если принять эту величину (750 мс) за границу нормы, то замедление проведения слуховых сигналов у детей клинической группы определяется билатерально в 25 (50%) случаев и дополнительно к этому, только с левой или правой стороны – еще в 9 (18%) случаев.

По данным дискриминантного анализа, в который были включены показатели АСВП детей обеих групп с идентифицированным пиком VI с обеих сторон, была рассчитана матрица классификации детей этих двух групп. Зависимой переменной служила принадлежность ребенка к контрольной либо клинической группе; предикторами являлись значения латентности пика VI с левой и правой стороны. В контрольной группе по АСВП корректно классифицированы как школьники без спе-

цифических проблем обучения все 32 ребенка из 32 детей (100% детей), включенных в анализ. В группе детей с проблемами обучения, по АСВП корректно классифицированы как представители клинической группы 35 детей ребенка из 42 (90,5%) и семеро детей (9,5%) были ошибочно отнесены к контрольной группе.

Результаты исследования показали, что у большинства детей со специфическими проблемами обучения (расстройствами формирования школьных навыков) в сравнении с детьми контрольной группы (без проблем обучения) обнаруживается увеличение латентности пика VI АСВП, отражающее замедленность проведения и обработки акустической информации в структурах слуховых трактов ствола мозга. Поскольку такое увеличение времени центрального проведения не определяется по результатам оценки межпиковых интервалов I-III, III-V, I-V, характеризующих проведение на уровне интракраниальных сегментов слухового нерва и моста мозга [8], предположительным местом локализации нарушения может быть понто-мезэнцефальный. В число структур этого уровня включают тракты и нейрональные комплексы верхней трети моста мозга и нижних бугорков четверохолмия [8].

Отличительной особенностью модификации метода АСВП, рассматриваемой авторами статьи, является использование короткой тональной посылки с частотой заполнения 4000 Гц. Это позволило обеспечить, с одной стороны, более надежную регистрацию пика VI АСВП, с другой – позволяло более направленно воздействовать на участки базальной мембраны, резонирующие в диапазоне ча-



Распределение величин пиковой латентности волны VI АСВП у детей контрольной (а) и клинической (б) группы. По оси абсцисс – границы интервалов латентности волны, мс; по оси ординат – количество (n) волн в интервале; стимуляция левого уха – I, правого уха – II

стот, критичных для анализа речевых сигналов. Такая частотная направленность воздействия достигалась использованием спектрального «окна» Блекмана (Blackman window).

В целом, с учетом не только увеличенной латентности, но и сниженной (ниже порога дискриминации) амплитуды – «отсутствия» – волны VI при стимуляции с какой-либо одной или двух сторон, чувствительность данного диагностического метода – способность давать правильный результат, определяемая как доля детей со специфическими проблемами обучения, у которых данное исследование выявит нарушение, составила 85%. При этом специфичность этого метода – способность не давать ложных положительных результатов при отсутствии среди детей контрольной группы, составила 91%, т.е. метод является высокоэффективным, поскольку он как высоко специфичен, так и высоко чувствителен.

Полученные оценки средних величин и показателей разброса индивидуальных значений интервалов I-III, III-V, I-V стандартных АСВП у детей как контрольной, так и клинической группы соответствуют нормативным данным [12]. Параметры пика VI АСВП у детей контрольной группы соответствуют нормативным данным [12], хотя эти нормативы получены с использованием стандартной методики АСВП (на щелчки). Сведений о параметрах пика VI стандартных АСВП у детей с нарушениями развития речи и специфическими проблемами обучения не было найдено. При использовании сложных звуковых стимулов было выявлено, что дети с трудностями обучения отличаются сниженной амплитудой и большей латентностью следующего за пиком V негативного (характерного для данного типа стимулов) колебания [9].

Высокая частота нарушений процессов обработки акустических стимулов на уровне стволовых отделов слуховой системы обнаружилась при использовании речеподобных звуков, которые более сложны по спектральным и временным характеристикам, чем обычно используемые щелчки и тоны. В исследовании [10] сообщается о значимых изменениях временных параметров и гармонических составляющих АСВП на «речевые» стимулы у 30% детей с проблемами в обучении, связанными с нарушениями чтения.

Детальный психофизиологический анализ картины нарушений развития речи и школьного обучения выявляет проблемы в обработке слухо-

вой информации, связанные с трудностями дифференциации звуков, узнавания паттернов звуков, фонематического анализа слов. Для анализа речи требуется строгая временная синхронизация процессов обработки акустической информации на всех уровнях слуховой системы. Исследование показывает, что у большинства детей с расстройствами речи обнаруживаются сниженные или замедленные ответы на слуховые раздражители на уровне ствола мозга. Эти данные подтверждают гипотезу о том, что дефицит сенсорной обработки на низких уровнях ЦНС составляет базу целого ряда проблем речевого развития и обучения.

Нарушение нейронального кодирования слуховой информации, приводя к нарушению восприятия акустических «ключей» речевых сигналов, накладывается на высшие уровни идентификации, категоризации и интеграции, поскольку данные процессы осуществляются на базе искаженных перцептуальных сигналов. Для компенсации этого искажения требуются дополнительные временные ресурсы, чтобы обеспечить адекватную манипуляцию с нарушенными перцептивными образами [13]. Вследствие этого именно фактор времени в работе слухоречевой системы может быть в центре патофизиологических механизмов расстройств речевого развития [7].

Недостатки фонематического восприятия нередко сочетаются с дефектами звукопроизношения. Эти дефекты нарушают четкость слухового и кинестетического контроля за звуковосприятием и звукопроизношением, дезорганизуют процесс фонемообразования, что, в свою очередь, затрудняет звукобуквенный анализ или делает его неверным. Г.В. Гершуни был одним из пионеров в комплексном изучении организации слуховой системы, обратившим особое внимание на взаимодействие каналов слуховой обработки и голосового воспроизведения частотных особенностей звука в обработке сложного биоакустического сигнала, а также на непрерывное сравнение акустических сигналов с собственными образами моторных действий. С одной стороны, двигательные-экспрессивные компоненты речи, реализуемые уже на уровне стволовых механизмов, организуют и направленно модулируют слуховое восприятие, с другой – слуховая обратная связь обеспечивает точное воспроизведение речи, соответствие ее акустической формы образцу [14].





Исследования N. Kraus и соавт. [15] показали, что при помощи организации акустической среды, например музыкальных тренировок, можно индуцировать нейропластические изменения в целом ряде субкортикальных структур, в частности в нижнем четверохолмии, области ствола мозга, получающей восходящие потоки импульсации от улитки и нисходящие влияния через кортикофугальные пути. На этом уровне обрабатываются специфические характеристики сложных звуков, например, взрывных согласных.

Несмотря на то, что до 87% детей клинической группы характеризуются увеличенной латентностью пика VI, выходящей за пределы контрольных значений, тем не менее 13% детей со специфическими проблемами обучения не имеют отличий от норматива.

Можно предположить, что наблюдаемые нами пациенты не представляют собой однородную группу в отношении патофизиологических механизмов расстройства школьного обучения, и не весь спектр специфических расстройств формирования школьных навыков может быть связан только с нарушениями проведения и обра-

ботки акустической информации в структурах стволового тракта. Авторы полагают, что объективная топическая диагностика с помощью нейромаркеров позволит не только выявить дисфункцию на ранних этапах развития ребенка, но и обеспечить целенаправленный выбор адекватных методов коррекции различных нарушений способности к обучению. Полученные данные подтверждают важное значение тонкой временной синхронизации в механизмах акустико-фонетического анализа речевых сигналов, тогда как замедленность центрального проведения и нарушение стабильности вызванных ответов могут привести к нарушению формирования школьно-значимых навыков чтения и письма.

● Применение модифицированного стимула – короткой тональной посылки – позволило выявить увеличенную латентность и/или сниженную амплитуду пика VI АСВП у 87% учащихся с проблемами обучения. Полученные данные показывают важную роль нарушений обработки слуховых сигналов уже на уровне ствола мозга как предиктора расстройств формирования навыков чтения и письма.

📖 Литература

1. Ковалева Г.С., Даниленко О.В., Ермакова И.В., Нурминская Н.В., Гапонова Н.В., Давыдова Е.И. О первоклассниках: по результатам исследований готовности первоклассников к обучению в школе // Муниципальное образование: инновация и эксперимент. 2012. № 5. С. 30–37.
2. Fawcett A.J., Nicolson R.I. Dyslexia, learning, and pedagogical neuroscience // *Dev. Med. Child Neurol.* 2007. V. 49. № 4. P. 306–311. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2007.00306.x.
3. Lliadou V., Bamiou D., Kaprinis S., Kandyli D., Kaprinis G. Auditory processing disorders in children suspected of learning disabilities – a need for screening? // *Intern. J. Pediatric Otorhinolaryngol.* 2009. V. 73. № 7. P. 1029–1034.
4. Gabrieli J.D.E. Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience // *Science.* 2009. V. 325. P. 280–283.
5. Peterson R.L., Pennington B.F. Developmental dyslexia. *Lancet.* 2012. V. 379. P. 1997–2007.
6. Корнев А.Н. Нарушения чтения и письма у детей. СПб: Речь. 2003. 283 с.
7. Tallal P., Gaab N. Dynamic auditory processing, musical experience and language development // *Trends in Neurosciences.* 2006. V. 29. P. 382–390.
8. Chiappa K.H., Hill R.A. Brain stem auditory evoked potentials: interpretation // *Evoked potentials in clinical medicine* / Ed. K.H. Chiappa. Philadelphia, N.Y.: Lippincott-Raven. 1997. P. 199–250.
9. Wible B., Nicol T., Kraus N. Atypical brainstem representation of onset and formant structure of speech sounds in children with language-based learning problems // *Biol. Psychol.* 2004. V. 67. P. 299–317.
10. Billiet C.R., Bellis T.J. The relationship between brainstem temporal processing and performance on tests of central auditory function in children with reading disorders // *J. Speech Lang. Hear. Res.* 2011. V. 54. № 1. P. 228–242.
11. Ефимов О.И., Ефимова В.Л., Рожков В.П. Нарушение скорости проведения слуховой информации в структурах ствола мозга у детей с расстройствами развития речи и трудностями в обучении // *Сенсорные системы.* 2014. Т. 28. № 3. С. 36–44.
12. Levy S.R. Brain stem auditory evoked potentials in pediatrics // *Evoked potentials in clinical medicine* / Ed. K.H. Chiappa. Philadelphia, N.Y.: Lippincott-Raven. 1997. P. 269–282.
13. Trevarthen C., Delafield-Butt J.T. Autism as a developmental disorder in intentional movement and affective engagement // *Front. Integr. Neurosci.* 2013. V. 7. № 49. P. 1–16.
14. Вартамян И.А. Современные проблемы изучения структурно-функциональной организации акустико-речевой системы мозга // *Успехи физиологических наук.* 1991. Т. 22. № 2. С. 19–32.
15. Hornickel J., Chandrasekaran B., Zecker S., Kraus N. Auditory brainstem measures predict reading and speech-in-noise perception in school-aged children // *Behav. Brain Res.* 2011. V. 216. № 2. P. 597–605. doi: 10.1016/j.bbr.2010.08.051.

Поступила 25 мая 2017 г.

Impairments of conduction and processing of acoustic stimuli in brainstem and specific developmental disorders of scholastic skills



© Authors, 2017
© Radiotekhnika, 2017

V.L. Efimova

*Ph.D. (Ped.), Principal Director of Scientific Research «Prognoz» Group Neurological Clinics
(Saint-Petersburg)*

E-mail: prefish@ya.ru

V.P. Rozhkov

*Ph.D. (Biol.), Leading Research Scientist, I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the RAS
(Saint-Petersburg)*

E-mail: vlozhkov@mail.ru

N.A. Ryabchikova

*Dr.Sc. (Biol.), Senior Research Scientist, Chair of The Higher Nervous Activity, Faculty of Biology,
Lomonosov Moscow State University*

E-mail: nat@guesstest.ru

Specific developmental disorders of scholastic skills or specific learning disability (SLD) include learning difficulties in reading, writing and mathematics. Etiology of these disorders is not clear. They are not direct results from the CNS involvement, however they are often related to the syndrome of attention deficit hyperactivity disorder. A characteristic feature for SLD children with is the presence of delays or deviations in the development of speech in the preschool period. In this aspect there can be found auditory processing problems which are linked to difficulties in sound differentiation, sound pattern recognition and phonemic analysis. Auditory processing disorders play an important role in the origin of these impairments even in the brainstem. The purpose of the study is to find how often children with SDDSS have problems with auditory processing in auditory centres and brainstem tracts according to a brainstem auditory evoked potential (BAEP). 54 boys and girls with SLD aged 7 – 15 took part in our study. Control group was made up of 35 children aged 6-16. Potentials were recorded with the help of Nicolet Viking Select™ System (USA) with standard – click (0.1 ms 85 dB NHL) and modified - tonebursts of 4 kHz (1ms, front 0.5 ms, 85 dB NHL) methods. The stimuli were presented through headphones TDH39 with a frequency of 10.1 Hz. The use of modified stimulus allowed at peak latency of wave VI (more than 750 ms) to find conduction delay of auditory signals bilaterally with 50% subjects, in either left or right side among 29% of children with SLD. Therefore, among children with SLD there is a big group of school children who have slow conduction rates of auditory information in brainstem auditory tracts. This temporal factor in the work of auditory system limits significantly speech signals segmentation and can hinder child's speech development, and development of reading and writing skills. Early detection of disorders of auditory processing of sensory signals at preschool age can allow to carry out well-timed appropriate adjustment of these specific disorders as risk factors for learning difficulties.

REFERENCES

1. Kovaleva G.S., Danilenko O.V., Ermakova I.V., Nurminskaja N.V., Gaponova N.V., Davydova E.I. O pervoklassnikah: po rezul'tatam issledovaniy gotovnosti pervoklassnikov k obucheniju v shkole // Municipal'noe obrazovanie: innovacija i jeksperiment. 2012. № 5. S. 30–37.
2. Fawcett A.J., Nicolson R.I. Dyslexia, learning, and pedagogical neuroscience // Dev. Med. Child Neurol. 2007. V. 49. № 4. P. 306–311. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2007.00306.x.
3. Lliadou V., Bamiou D., Kaprinis S., Kandylis D., Kaprinis G. Auditory processing disorders in children suspected of learning disabilities – a need for screening? // Intern. J. Pediatric Otorhinolaryngol. 2009. V. 73. № 7. P. 1029–1034.
4. Gabrieli J.D.E. Dyslexia: a new synergy between education and cognitive neuroscience // Science. 2009. V. 325. P. 280–283.
5. Peterson R.L., Pennington B.F. Developmental dyslexia. Lancet. 2012. V. 379. P. 1997–2007.
6. Корнев А.Н. Нарушения чтения и письма у детей. СПб: Речь. 2003. 283 с.
7. Tallal P., Gaab N. Dynamic auditory processing, musical experience and language development // Trends in Neurosciences. 2006. V. 29. P. 382–390.
8. Chiappa K.H., Hill R.A. Brain stem auditory evoked potentials: interpretation // Evoked potentials in clinical medicine / Ed. K.H. Chiappa. Philadelphia, N.Y.: Lippincott-Raven. 1997. P. 199–250.
9. Wible B., Nicol T., Kraus N. Atypical brainstem representation of onset and formant structure of speech sounds in children with language-based learning problems // Biol. Psychol. 2004. V. 67. P. 299–317.
10. Billiet C.R., Bellis T.J. The relationship between brainstem temporal processing and performance on tests of central auditory function in children with reading disorders // J. Speech Lang. Hear. Res. 2011. V. 54. № 1. P. 228–242.
11. Efimov O.I., Efimova V.L., Rozhkov V.P. Narushenie skorosti provedeniya sluhovoj informacii v strukturah stvola mozga u detej s rasstrojstvami razvitiya rechi i trudnostjami v obuchenii // Sensornye sistemy. 2014. T. 28. № 3. S. 36–44.
12. Levy S.R. Brain stem auditory evoked potentials in pediatrics // Evoked potentials in clinical medicine / Ed. K.H. Chiappa. Philadelphia, N.Y.: Lippincott-Raven. 1997. P. 269–282.
13. Trevarthen C., Delafield-Butt J.T. Autism as a developmental disorder in intentional movement and affective engagement // Front. Integr. Neurosci. 2013. V. 7. № 49. P. 1–16.
14. Vartanjan I.A. Sovremennye problemy izuchenija strukturno-funkcional'noj organizacii akustiko-rechevoj sistemy mozga // Uspehi fiziologicheskikh nauk. 1991. T. 22. № 2. S. 19–32.
15. Hornickel J., Chandrasekaran B., Zecker S., Kraus N. Auditory brainstem measures predict reading and speech-in-noise perception in school-aged children // Behav. Brain Res. 2011. V. 216. № 2. P. 597–605. doi: 10.1016/j.bbr.2010.08.051.