

Вестник психофизиологии. 2022. № 2. С. 82-87.  
*Psychophysiology News*. 2022. No. 2. P. 82-87.

Научная статья  
УДК 159.9

doi: 10.34985/m2872-0706-6552-m

## ИЗМЕНЕНИЕ ЛАТЕРАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ В ВЕСТИБУЛЯРНОЙ И СЛУХОВОЙ СИСТЕМЕ В ОНТОГЕНЕЗЕ

Виктория Леонидовна Ефимова<sup>1</sup>, Елена Ивановна Николаева<sup>2</sup>,  
Евгений Геннадьевич Вергунов<sup>3</sup>, Леонид Геннадьевич Буйнов<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена

<sup>1, 2, 4</sup> Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, Елец, Россия

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup> pefish@ya.ru, ORCID: 0000-0001-7029-9317

<sup>2</sup> klemtina@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8363-8496

<sup>3</sup> vergounov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8352-5368

<sup>4</sup> buynoff@yandex.ru ORCID: 0000-0002-6203-4324

© Ефимова В.Л., Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Буйнов Л.Г., НПЦ "ПСН", 2022

**Аннотация.** Поставлен вопрос относительно предпочтения левой или правой сторон в вестибулярной системе. Важным отличием вестибулярной системы от других систем является то, что она не имеет первичной локализации в коре головного мозга. Цель исследования: изучить специфику латеральных предпочтений в вестибулярной и слуховой системе в онтогенезе.

Было обследовано 383 ребёнка (290 мальчиков, 93 девочки) в возрасте от 1,1 до 13,7 года (средний возраст  $5,5 \pm 2,4$  года; формат  $M \pm SD$ ). Все дети посещали дошкольные учреждения общеразвивающего вида или общеобразовательные школы. Для проведения исследования были получены разрешения родителей. В процессе исследования был использован следующий набор методик: регистрация акустических стволовых вызванных потенциалов с использованием метода VI пика; оценка функции полукружных каналов вестибулярного аппарата путём регистрации длительности поствращательного нистагма, оценка отолитовой функции вестибулярного аппарата проводилась методом цервикальных вестибулярных миогенных вызванных потенциалов. Для оценки изменений выраженности асимметрии в онтогенезе был применён многомерный анализ. Данные свидетельствуют о том, что асимметрия в слуховой сфере закладывается при рождении, тогда как асимметричные изменения нистагма и вестибулярной функции постепенно усиливаются и связаны с постепенным преобладанием правого полушария в переработке информации.

**Ключевые слова:** слуховая система, вестибулярная система, поствращательный нистагм, цервикальные вестибулярные миогенные вызванные потенциалы; асимметрия

Original article

**LATERAL PREFERENCES CHANGING IN THE VESTIBULAR AND AUDIO SYSTEM IN ONTOGENESIS****Victoria L. Efimova<sup>1</sup>, Elena I. Nikolaeva<sup>2</sup>,  
Eugeny G. Vergunov<sup>3</sup>, Leonid G. Buynov<sup>4</sup>**<sup>1, 2, 4</sup> Herzen Russian State Pedagogical University, Saint-Petersburg, Russia<sup>2</sup> Bunin Yelets State University, Yelets, Russia<sup>3</sup> Research Institute of Physiology and Fundamental Medicine, Novosibirsk, Russia<sup>1</sup> prefish@ya.ru, ORCID: 0000-0001-7029-9317<sup>2</sup> klemtina@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8363-8496<sup>3</sup> vergounov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8352-5368<sup>4</sup> buynoff@yandex.ru ORCID: 0000-0002-6203-4324

**Abstract.** The question was raised regarding the preference of the left or right sides in the vestibular system. An important difference between the vestibular system and other systems is that it does not have a primary localization in the cerebral cortex. The purpose of the study: to study the specifics of lateral preferences in the vestibular and auditory systems in ontogeny.

We examined 383 children (290 boys, 93 girls) aged 1.1 to 13.7 years (mean age  $5.5 \pm 2.4$  years;  $M \pm SD$  format). All children attended preschool institutions of a general developmental type or general education schools. Parental permission was obtained for the study. During the study, the following set of techniques was used: registration of acoustic stem evoked potentials using the VI peak method; assessment of the function of the semicircular canals of the vestibular apparatus by recording the duration of postrotational nystagmus, assessment of the otolithic function of the vestibular apparatus was carried out by the method of cervical vestibular myogenic evoked potentials. To assess changes in the severity of asymmetry in ontogeny, a multivariate analysis was used. The data suggest that asymmetry in the auditory sphere is established at birth, while asymmetric changes in nystagmus and vestibular function gradually increase and are associated with the gradual predominance of the right hemisphere in information processing.

**Keywords:** vestibular system; auditory system; post rotational nystagmus; auditory brain stem response; cervical vestibular evoked myogenic potentials

Любой наблюдатель весьма быстро оценит, что люди в той или иной своей активности преимущественно используют правую руку. Это явление обнаруживается в любом конце Земли [6], кроме областей Крайнего Севера [1] и высокогорья [4]. Более того, подобные данные демонстрируются и для сенсорных систем. Это проявляется в том, что люди предпочитают определённое ухо, глаз, ноздрю и т. д. [9]. Однако в этом случае уже нет такого выраженного преимущества одной из сторон: например, правый ведущий глаз встречается только в 60% случаев [3].

В связи с этим встаёт вопрос относительно предпочтения левой или правой сторон в вестибулярной системе. Вестибулярная система - уникальная сенсорная система, которая информирует тело о его положении относительно гравитационного поля Земли. Это чувство активизируется единственным внешним раздражителем, который никогда не исчезает, пока организм находится на Земле. В то время, как солнечный свет регулярно исчезает, и можно найти места с вечной тишиной, без запаха и вкуса, на Земле всегда есть гравитация. Именно поэтому длительное пребывание человека в космосе, где отсутствует этот постоянный спутник человека, приводит к тотальному изменению всех систем организма [10].

Важным отличием вестибулярной системы от других систем является то, что она не имеет первичной локализации в коре головного мозга. Она представлена билатеральной корковой сетью популяций нейронов в различных областях мозга. Обработка вестибулярной

информации происходит в верхней височной извилине, нижней теменной доле и переднем острове левого и правого полушарий [7].

Столь важная роль этой системы заставляет предположить, что она не должна иметь предпочтения той или иной стороны. С этой позиции представляется важным определить состояние асимметрии этой системы у детей с особенностями развития, имеющих размытые симптомы, которые, тем не менее, влекут когнитивные ухудшения. Всё это предопределило цель нашего исследования: изучить специфику латеральных предпочтений в вестибулярной и слуховой системе в онтогенезе. Слуховую систему мы выбрали по двум причинам: с одной стороны, точно известно, что в ней есть предпочтение левой и правой стороны, которая зависит от типа стимуляции; с другой стороны, она формируется параллельно с вестибулярной системой, и информация от слуховых и вестибулярных рецепторов некоторое время идёт в составе одного и того же нерва [8].

#### Материалы и методы

*Описание выборки.* Было обследовано 383 ребёнка (290 мальчиков, 93 девочки) в возрасте от 1,1 до 13,7 года (средний возраст  $5,5 \pm 2,4$  года; формат  $M \pm SD$ ). Все дети посещали дошкольные учреждения общеразвивающего вида или общеобразовательные школы. Родители обратились в детскую неврологическую клинику с жалобами на трудности в поведении ребёнка и сниженную, по сравнению со сверстниками, способность к обучению.

Дети были осмотрены неврологом и логопедом. В выборке присутствовали дети со следующими диагнозами: G 93,4 энцефалопатия неуточнённая; F 80 специфические расстройства языкового развития; F 80.1 расстройство экспрессивной речи; F 80.2 расстройство рецептивной речи; F 81 специфическое расстройство формирования школьных навыков; F 48.8 другие невротические расстройства; F 90 90.1 нарушение активности и внимания (СДВГ); F 98.3 другие нарушения нервной системы; F 48 неврастения; F 83 смешанные специфические расстройства развития; A 84 общие расстройства психологического развития.

В процессе исследования был использован следующий набор методик.

Регистрация акустических стволовых вызванных потенциалов (АСВП) проводилась при помощи анализатора "Nicolet Viking Select TM" (VIASYSHealthscareInc, США). Помимо классического варианта исследования, который применяется в неврологии, был использован метод VI пика: для регистрации VI пика использовали модифицированный стимул - короткую тональную посылку с частотой заполнения 4000 Гц, длительностью плато - 0,5 мс, переднего фронта - 0,5 мс, интенсивностью 70 дБ выше порога слуха. Использование такого модифицированного стимула позволяло установить время проведения слухового сигнала по стволу мозга (от волосковых клеток кортиева органа до медиального колленчатого тела таламуса).

Оценка функции полукружных каналов вестибулярного аппарата проводилась путём регистрации длительности поствращательного нистагма (ПВН) с помощью Устройства психофизиологического телеметрического "Реакор-Т" производства ООО НПКФ "Медиком-МТД" (г. Таганрог) в ПМО "Энцефалан-СА".

Оценка отолитовой функции вестибулярного аппарата проводилась методом цервикальных вестибулярных миогенных вызванных потенциалов (цВМВП); цВМВП в ответ на звуковую стимуляцию регистрировали на нейроусреднителе Нейро-МВП-4 (Нейрософт, Иваново). Оценивали латентность волны P13 цВМВП, регистрируемой от m. Sternocleidomastoideus на стороне предъявления щелчков (саккуло-цервикальный рефлекс).

Постурографическое (стабилометрическое) исследование проводилось с помощью системы цифровой постурографии Balance Master® (NeuroCom International, Inc., США). Был использован модифицированный клинический тест оценки сенсорного взаимодействия для сохранения устойчивости в положении стоя (modified Clinical Test Sensory Integration for Balance - mCTSIB)

### Многомерный анализ

PLS (Projection to Latent Structure) - метод проекций на латентные структуры, метод частичных наименьших квадратов. 2B-PLS - Two-Block PLS - это бикомпонентный PLS-анализ [11]. Метод 2B-PLS позволяет выявлять глубинные совместные "латентные переменные" (психофизиологические механизмы), которые одновременно описывают две различные совокупности (блоки B1 и B2) многомерных данных [2]. В процессе бикомпонентного анализа осуществляется центрирование, масштабирование и разворот обеих матриц с данными так, чтобы максимизировать ковариацию между матрицами счётов (B1-scores и B2-scores). Такие операции сохраняют все структурные взаимоотношения между объектами - в этом основное отличие от инструментов метода наименьших квадратов.

Строки в блоках B1 и B2 представляют собой данные по предметам, а столбцы - показатели. Здесь показатели являются исходными осями координат (в том числе коррелированными друг с другом) и могут рассматриваться как "явные структуры", каждая из которых обуславливает некоторую (обычно небольшую) величину общей дисперсии. Цель анализа 2B-PLS состоит в том, чтобы найти систему пар осей (латентных структур) сразу для 2 блоков, которая выражает максимальную ковариацию между B1-scores и B2-scores. Матрицы нагрузок (B1-loadings и B2-loadings) являются матрицами перехода от исходных явных структур к найденным новым латентным структурам (ортогональным).

Любые виды PLS-анализа очень эффективно аккумулируют в нескольких первых компонентах максимум информации всей совокупности данных (не только об их средних величинах, но и об их характере распределения - в отличие от инструментов OLS-анализа) даже в тех случаях, когда анализируются многие сотни показателей [12].

Перестановочный критерий и многомерный анализ были выполнены с помощью программного пакета JACOBI 4.3.20 [11].

Все PLS-инструменты допускают ситуацию, когда число переменных больше (и даже много больше), чем число объектов, при этом коррелированность переменных или их дихотомичность не является запретом для применения. В общем случае включение дихотомических переменных в анализ обосновано тем, что для выборки они выражают частоту встречаемости признака.

Вся обработка данных (Data Preprocessing, Processing & Post Processing) проведена с помощью пакета JACOBI 4 [5].

Была оценена динамика асимметрии по изучаемым показателям в онтогенезе.

Состав блоков переменных приведён в таблице 1. Изучаемые показатели были описаны одинаковыми наборами дихотомических переменных и включены в блок #1. Порядок формирования таких переменных для каждого показателя был единым:

- переменная "асимметрия левая" получает значение "1", если условие ["асимметрия левая" - "асимметрия правая"] > 0 верно (значение "0" в другом случае);
- переменная "асимметрия правая" получает значение "1", если верно условие ["асимметрия левая" - "асимметрия правая"] < 0 (значение "0" в другом случае);
- переменная "симметрично" получает значение "1", если верно условие ["асимметрия левая" - "асимметрия правая"] = 0 (значение "0" в другом случае).

Выражение ["асимметрия левая" - "асимметрия правая"] вычислялось с учётом порога погрешности измерения, который для каждого показателя определялся отдельно.

Поскольку нашей задачей был поворот переменных, описывающих показатели, на угол, который даёт максимальную ковариацию с возрастом, то в блок #2 была включена только одна переменная (возраст). Поэтому после бикомпонентного анализа получена только одна латентная структура, которая и является возрастом (рисунок 1).

Таблица 1 - Блоки переменных для бикомпонентного анализа

Код	Переменная	Блок
асВП_Л	Акустические стволовые ВП (VI пик), асимметрия левая	#1
асВП_П	Акустические стволовые ВП (VI пик), асимметрия правая	#1
асВП_С	Акустические стволовые ВП (VI пик), симметрично	#1
ПН_Л	Поствращательный нистагм, асимметрия левая	#1
ПН_П	Поствращательный нистагм, асимметрия правая	#1
ПР_С	Поствращательный нистагм, симметрично	#1
цвмВП_Л	Цервикальные вестибулярные миогенные ВП P13, асимметрия Л	#1
цвмВП_П	Цервикальные вестибулярные миогенные ВП P13, асимметрия П	#1
цвмВП_С	Цервикальные вестибулярные миогенные ВП P13, симметрично	#1
Возраст	Возраст	#2

Примечание: ВП - вызванные потенциалы

Согласно данным, представленным на рисунке 1, с возрастом возрастает правостороннее преимущество (и снижаются значения левостороннего преимущества и отсутствия асимметрии) для показателей нистагма и обратный процесс для показателей цвмВП. При этом изменений в выраженности асимметрии с возрастом на уровне слуховых вызванных потенциалов отмечено не было.

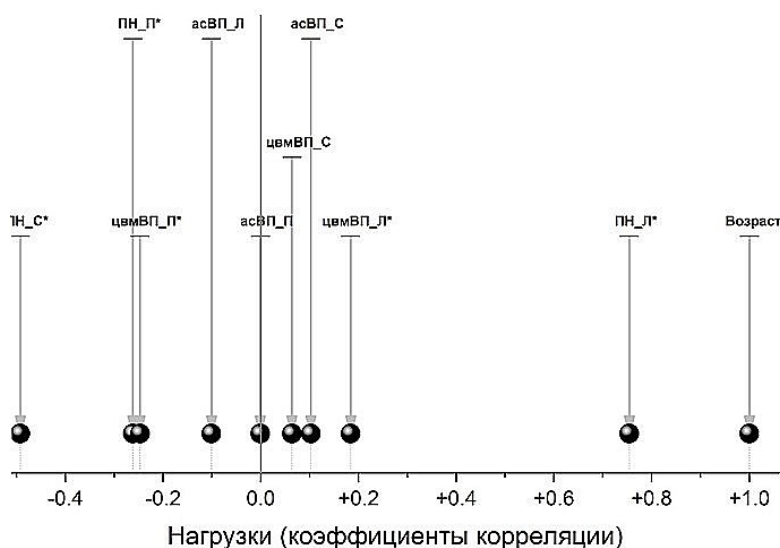


Рисунок 1 - Нагрузки (коэффициенты корреляции) после бикомпонентного анализа для переменных из таблицы 1

\* коэффициент корреляции имеет значимость на уровне  $p < 0,05$

Таким образом, полученные в исследовании нами данные свидетельствуют о том, что асимметрия в слуховой сфере закладывается при рождении, тогда как асимметричные изменения нистагма и вестибулярной функции постепенно усиливаются.

Можно предположить, что именно асимметрия вестибулярной функции (вне зависимости от ее типа) обуславливает нарушение адекватности восприятия, что, в свою очередь, отражается на всех когнитивных процессах.

Раннее купирование начала асимметричных проявлений, возможно, способствовало бы более эффективной коррекции когнитивных возможностей детей.

#### Выводы:

1. У детей с когнитивными нарушениями с возрастом не меняется асимметрия слуховой функции.

2. У детей с когнитивными нарушениями с возрастом нарастает асимметрия параметров вестибулярной системы;

3. Необходима ранняя диагностика асимметричного развития вестибулярной системы для раннего копирования когнитивных изменений.

#### Список источников (References)

1. Кривошеков С.Г., Белишева Н.К., Николаева Е.И., Вергунов Е.Г., Мартынова А.А., Ельникова О.Е., Пряничников С.В., Ануфриев Г.Н., Балиоз Н.В. Концепция аллостаза и адаптация человека на севере// Экология человека. 2016. № 7. С. 17-25. [Krivoshchekov S.G., Belisheva N.K., Nikolaeva E.I., Vergunov E.G., Martynova A.A., El'nikova O.E., Pryanichnikov S.V., Anufriev G.N., Balioz N.V. The concept of allostasis and human adaptation in the north// Human ecology. 2016. No. 7. P. 17-25.]
2. Ковалева В. Ю., Поздняков А. А., Литвинов Ю. Н., Ефимов В. М. Оценка сопряженности морфогенетических и молекулярно-генетических модулей изменчивости серых полевков *Microtus s.l.* в градиентных условиях среды// Экологическая генетика. 2019. Т. 17 ( 2). С. 21-34. DOI: 10.17816/ecogen17221-34. [Kovaleva V. Yu., Pozdnyakov A. A., Litvinov Yu. N., Efimov V. M. Evaluation of conjugacy of morphogenetic and molecular genetic moduli of variability of the gray voles *Microtus s.l.* under gradient environmental conditions// Ecological genetics. 2019. V. 17 (2). P. 21-34. DOI: 10.17816/ecogen17221-34.]
3. Николаева Е. И., Борисенкова Е. Ю. (2008). Сравнение разных способов оценки профиля функциональной сенсомоторной асимметрии у дошкольников// Асимметрия. Т. 2. № 1. С. 32-39. [Nikolaeva E. I., Borisenkova E. Yu. (2008). Comparison of different methods for assessing the profile of functional sensorimotor asymmetry in preschoolers. *Asymmetry*. Т. 2. No. 1. P. 32-39.]
4. Николаева Е.И., Вергунов Е.Г. Функциональная асимметрия мозга и латеральные предпочтения: перезагрузка. Эволюционный, генетический, психофизиологический и психологический подходы к анализу. Санкт-Петербург: изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. [Nikolaeva E.I., Vergunov E.G. Functional brain asymmetry and lateral preferences: a reboot. Evolutionary, genetic, psychophysiological and psychological approaches to analysis. St. Petersburg: HSPU, 2020.]
5. Полунин Д. А., Штайгер И. А., Ефимов В. М. Разработка программного комплекса JACOBI 4 для многомерного анализа микрочиповых данных// Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2014. Т. 12. Вып. 2. С. 90-98. [Polunin D. A., Shtaiger I. A., Efimov V. M. Development of the JACOBI 4 software package for multidimensional analysis of microarray data. *Bulletin of NGU. Series: Information technologies*. 2014. V. 12(2). P. 90-98.]
6. McManus I. C. Right hand, left hand. The origin of asymmetry in brains, bodies, atoms and cultures. L.: Poenix, 2003.
7. Nikolaeva E.I., Efimova V.L. The role of the vestibular system in the development of specific language disorders in children. *Human Physiology*. 2020. V. 46(3). P. 306-311. <https://doi.org/10.1134/S0362119720030032>.
8. Nikolaeva E. I., Efimova V.L., Vergunov E.G. Integration of Vestibular and Auditory Information in Ontogenesis. *Children*. 2022. V.9 (3). Art. 401. DOI: 10.3390/children9030401.
9. Ocklenburg S., Beste C., Arning L., Peterburs J., Güntürkün O. The ontogenesis of language lateralization and its relation to handedness. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2014. V. 43. P. 191-198.
10. Pal N., Goswami Sh., Singh R., Yadav T., Singh R.P. Precautions & Possible Therapeutic Approaches of Health Hazards of Astronauts in Microgravity. *The International Journal of Aerospace Psychology*. 2021. V. 31(2). P. 149-161, <https://doi.org/10.1080/24721840.2020.1863151>.
11. Polunin D., Shtaiger I., Efimov V. JACOBI4 software for multivariate analysis of biological data. *BioRxiv*. 2019. Doi: 10.1101/803684.
12. Ränner S., Lindgren F., Geladi P., Wold S. A PLS kernel algorithm for data sets with many variables and fewer objects. *J. Chemom.* 1994. V. 8. P. 111-125.

Статья поступила в редакцию 16.03.2022; одобрена после рецензирования 19.04.2022; принята к публикации 13.05.2022.

The article was submitted 16.03.2022; approved after reviewing 19.04.2022; accepted for publication 13.05.2022.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.