

Научная статья

УДК 159.91

<https://doi.org/10.24888/2073-8439-2024-66-2-25-34>

РОЛЬ ВЕСТИБУЛЯРНОГО СЛУХА В ВОСПРИЯТИИ РЕЧИ (ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

В.Л. Ефимова

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, Россия, prefish@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7029-9317>

Резюме. В статье представлен обзор зарубежных исследований, посвященных участию вестибулярной системы в восприятии речи. Хотя долгое время считалось, что вестибулярная система вовлечена только в управление балансом и моторикой, появляется все больше данных о том, что она участвует в когнитивных процессах, таких как память, внимание, речь. Не вызывает сомнения тот факт, что слуховое восприятие необходимо для восприятия речи. Периферические отделы вестибулярного и слухового анализаторов анатомически тесно связаны. Но исследований о том, как вестибулярные органы влияют на слуховое восприятие, недостаточно. Эволюционно вестибулярный аппарат появился у животных значительно раньше, чем периферические органы слуха. Вестибулярный аппарат человека состоит из пяти парных отделов: трех полукружных каналов и двух отолитовых органов: утрикулуса (маточки) и саккулуса (мешочка). В процессе эволюции максимальным изменениям подверглись полукружные каналы человека и других млекопитающих. Способность регистрировать аудиторную информацию сохранилась только у одного из отделов вестибулярного аппарата – саккулуса. Вестибулярный (саккулярный) слух позволяет регистрировать низкочастотные звуки в диапазоне от 100 до 1000 Гц. Это помогает распознаванию речи, так как указанный частотный диапазон связан с восприятием интонации, границ слов, ударения. Саккулярный слух также помогает воспринимать речь в шуме. Данные о роли вестибулярного аппарата в восприятии речи полезны для всех специалистов, занимающихся речью. Способность саккулуса реагировать на звук используется для проведения инструментальной диагностики вестибулярной системы – цервикальных вестибулярных миогенных вызванных потенциалов (цВМВП).

Ключевые слова: вестибулярная система, саккулос, речь, восприятие речи, вестибулярная функция, речь в шуме, развитие детей, отолитовые органы, слуховое восприятие, цервикальные вестибулярные миогенные вызванные потенциалы

Для цитирования

Ефимова В.Л. Роль вестибулярного слуха в восприятии речи (обзор зарубежных исследований) // Психология образования в поликультурном пространстве. 2024. № 2 (66). С. 25–34. <https://doi.org/10.24888/2073-8439-2023-66-2-25-34>

THE ROLE OF VESTIBULAR HEARING IN SPEECH PERCEPTION (REVIEW OF FOREIGN RESEARCH)

Victoria L. Efimova

Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia, prefish@ya.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7029-9317>

Abstract. *The article presents a review of foreign studies on the participation of the vestibular system in speech perception. Although for a long time it was believed that the vestibular system is involved only in the management of balance and motor skills, there is increasing evidence that it is involved in cognitive processes such as memory, attention, and speech. There is no doubt that auditory perception is necessary for speech perception. The peripheral parts of the vestibular and auditory analyzers are anatomically closely related. But there is not enough research on how vestibular organs affect auditory perception. Evolutionarily, the vestibular apparatus appeared in animals much earlier than the peripheral hearing organs. The human vestibular apparatus consists of five paired sections: three semicircular canals and two otolith organs – the utricle and saccule. In the process of evolution, the semicircular canals of humans and other mammals underwent maximum changes. The ability to register auditory information was preserved only in one of the parts of the vestibular apparatus – saccule. Vestibular (saccular) hearing allows us to register low-frequency sounds in the range from 100 to 1000 Hz. This helps speech perception, as this frequency range is associated with the perception of intonation and other prosodic components of the utterance. Saccular hearing also helps speech perception in noise. Data on the role of the vestibular apparatus in speech perception are useful for all speech and language specialists. The ability of the saccule to respond to sound is used for instrumental diagnostics of the vestibular system – cervical vestibular myogenic evoked potentials (cVEMP).*

Keywords: *vestibular system, saccule, speech, speech perception, vestibular function, speech in noise, child development, otolith organs, auditory perception, cervical vestibular myogenic evoked potentials, cVEMP*

For citation

Efimova, V. L. (2024). The role of vestibular hearing in speech perception (review of foreign research). *Psikhologiya obrazovaniya v polikul'turnom prostranstve*, (2), 25–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.24888/2073-8439-2024-66-2-25-34>

Анатомия вестибулярной системы хорошо изучена, но остается много вопросов, касающихся межсенсорного взаимодействия, а также роли вестибулярной системы в восприятии таких сложных стимулов, как речь. В условиях реальной жизни чем сложнее стимул, тем больше сенсорных систем участвуют в его интерпретации и дифференциации. Хотя вестибулярный аппарат находится во внутреннем ухе и анатомически тесно связан с органами слуха, его роль в восприятии речи изучена недостаточно.

Целью данного обзора был поиск экспериментальных исследований, в которых изучалась связь между функциональным состоянием вестибулярной системы и восприятием речи.

Удивительным является тот факт, что взаимодействие слуховой и вестибулярной систем на настоящий момент мало изучено. Слуховая и вестибулярная системы имеют общие периферические аппараты (внутреннее ухо и восьмой черепно-мозговой

нерв). Кроме того, они схожи эмбриологически и структурно. Показано, что сочетание вестибулярных и слуховых дисфункций встречается при различных патологических состояниях, таких как диабет (Elangovan, Spankovich, 2019), фетальный алкогольный синдром у детей (Church, Kaltenbach, 1997).

Долгое время вестибулярная система рассматривалась исследователями исключительно в контексте управления движениями. В последние годы удалось доказать, что вестибулярная система функционально связана с гиппокампом, миндалиной, стриатумом и неокортексом, а следовательно, ее состояние может влиять на память, исполнительные функции, способность к обучению, внимание, осознание своего тела и т.д. (Harris, 2020; Hanes, McCollum, 2006).

Эволюционно вестибулярная система значительно старше, чем слуховая. В тот период, когда животные обитали только в водной среде, у них не было возможности использовать воздушную проводимость звука для ориентировки в пространстве и коммуникации. Некоторые функции слуха выполнялись структурами нервной системы, которые реагировали на гравитацию, движение и вибрацию вестибулярным аппаратом. Звуковая активация вестибулярных органов происходила с помощью костной проводимости звука. В процессе эволюции, когда животные вышли на сушу и оказались в воздушной среде, сформировался кохлеарный слух, позволяющий регистрировать звуковые волны с помощью воздушной проводимости. Но оказалось, что способность вестибулярного аппарата активироваться в ответ на некоторые звуки с помощью костной проводимости сохранилась.

Периферическая часть вестибулярного анализатора человека состоит из 5 парных отделов: трех полукружных каналов и двух отолитовых органов: саккулюса (мешочка) и утрикулюса (маточки).

Улитка внутреннего уха (кохлеа) и вестибулярные органы снабжены механорецепторами – волосковыми клетками, сходными по своему строению. Однако в процессе эволюции часть вестибулярного аппарата претерпела значительные изменения. В результате этих изменений во внутреннем ухе млекопитающих и человека слуховые и вестибулярные волосковые клетки могут активироваться избирательно. В большей степени в процессе эволюции изменились утрикулюс и полукружные каналы. Нижняя часть вестибулярного аппарата – саккулюс – оставалась достаточно постоянной. Именно саккулюс сохранил способность активироваться в ответ как на движения головы и гравитацию, так и на громкие звуки. Для обозначения этой способности используется термин «вестибулярный слух». Оказалось, что возможность использовать вестибулярный слух сохраняется не только у здоровых людей, но и у тотально глухих в том случае, когда функции саккулюса не пострадали (Emami et al., 2012).

Способность саккулюса реагировать на звук используется для проведения инструментальной диагностики, которая называется «цервикальные вестибулярные миогенные вызванные потенциалы» (цВМВП). Пациенту через наушники моноурально подаются громкие, короткие, низкочастотные звуки. В результате передачи импульсов через саккулюс по нижней части вестибулоспинального тракта регистрируется сокращение грудинно-ключично-сосцевидной мышцы. Эта реакция и отражает наличие вестибулярного слуха. Дисфункции выявляются на стороне аудиторной стимуляции. Затем исследование повторяется со звуковым сигналом, который подается во второе ухо.

Впервые реакция вестибулярных органов на громкие звуки была описана в 1929 г. и получила название феномена Туллио. Пьетро Туллио описал возникновение у человека вестибулярных симптомов при воздействии громких звуков на саккулюс (Sheykholeslami, Kaga, 2002).

В результате многочисленных последующих исследований было установлено, что саккулос человека является конечным органом, который активируется с помощью звука (Colebatch, 2006; Rosengren, Welgampola, Colebatch, 2010). Саккулос активируется в ответ на громкие низкочастотные звуки в диапазоне от 100 до 1000 Гц (Emami et al., 2012).

Большинство акустически чувствительных волокон в нижнем вестибулярном нерве имеют нерегулярную спонтанную активность и берут начало в саккулосе. Эти волокна прослеживаются в вестибулярных ядрах ствола мозга и в кохлеарном ядре. Саккулос млекопитающих реагирует на звук и посылает акустическую информацию в центральную нервную систему, включая ствол мозга, мозжечок, высшие центры вплоть до гипоталамуса, а также медиальную и верхнюю височные извилины (Guinan, 2006; McNerney et al., 2011; Burkard, Secor, 2002).

Центральная часть слуховой системы отвечает за распознавание и определение локализации звуков, в том числе и речи. В процесс слухового восприятия вовлечены многочисленные корковые и подкорковые области: височные доли, лобные и теменные доли, ствол мозга и лимбическая система. Таким образом, основная часть слуховой коры мозга, а именно височная извилина, может активироваться благодаря вестибулярному слуху (McNerney et al., 2011).

В настоящее время цВМВП широко используется в диагностике вестибулярных расстройств, например, вестибулярной мигрени (Yao et al., 2021).

Особенно важно изучать вестибулярную функцию у детей, так как когнитивные функции у них активно развиваются. Основным симптомом, который может быть поводом для инструментального обследования вестибулярной системы, обычно является головокружение. Однако дети с врожденными вестибулярными дисфункциями, как правило, на головокружения не жалуются, но дисфункциональная вестибулярная система может оказывать долгосрочное негативное влияние на их развитие (Wiener-Vacher et al., 2013; Rine, 2018).

цВМВП могут быть зарегистрированы у новорожденных на 5-й день жизни. При длине шеи ребенка менее 15 см, то есть до подросткового возраста, необходимо делать поправки относительно взрослых норм для этого исследования (Young, 2015).

Исследование цВМВП не является распространенным в педиатрической практике, чаще его проводят детям с нарушениями слуха или после кохлеарной имплантации, так как предполагается, что у этих групп детей имеются вестибулярные дисфункции из-за анатомических связей между улиткой внутреннего уха и периферическими вестибулярными органами (Verbecque et al., 2017; Wang et al., 2022).

Сенсорный дефицит, связанный с нарушениями слуха, имеет далеко идущие последствия, которые выходят за рамки речевого развития. В последнее время основное внимание уделяется не только развитию речи, но и общей успеваемости детей с нарушениями слуха в реальных условиях. Есть данные о том, что трудности с обучением у этой группы детей могут быть связаны с сопутствующим вестибулярным дефицитом (Cushing, Papsin, 2018).

В последние десятилетия появились данные о том, что и у детей с нормальным слухом также встречаются отклонения в результатах цВМВП. Это дети с синдромом дефицита внимания, с гиперактивностью (СДВГ) и трудностями в обучении (Isaac et al., 2017; Lotfi et al., 2017).

Роль вестибулярного слуха в восприятии речи у людей с нормальным слухом все еще изучена недостаточно. Было установлено, что вестибулярный слух является подкреплением кохлеарного слуха и помогает различать частоту и интенсивность акустических сигналов (Scott, Sinex, 2010).

Особенно важна роль вестибулярного слуха в ситуациях, когда речь приходится воспринимать в акустически неблагоприятных условиях. Исследования показали, что саккуллюс помогает воспринимать речь в шуме. В этом случае слуховая и вестибулярная системы взаимодействуют для распознавания низкочастотных фонем (Emami et al., 2013). Низкочастотные звуковые сигналы играют важную роль в распознавании слов в шуме. В условиях тишины нейроны слуховой коры реагируют на звуки как высокой частоты, так и низкой. В условиях шума есть реакция нейронов только на низкочастотные звуки. Таким образом, низкочастотные звуки обеспечивают подсказки, которые помогают разделять фонемы, а также слышать границы слов и фраз (Abrams, Kraus, 2009; Fishman, Steinschneider, 2010; Young, 2010).

Диапазон чувствительности саккуллюса к низкочастотным сигналам важен для восприятия речи. Поскольку нейроны ствола мозга и первичной слуховой коры реагируют на низкие частоты, активация саккуллюса низкими частотами помогает обеспечить необходимую разборчивость воспринимаемой речи (Emami et al., 2012; Scott, Sinex, 2010).

Частотный диапазон, на который может реагировать саккуллюс, частично пересекается с основным частотным диапазоном речи. Низкие частоты в речи связаны с делением слов на слоги, а в музыке – с ритмом и последовательностью нот. Низкочастотные компоненты речи, которые находятся в вестибулярном диапазоне, также передают информацию об интонации и ударении (Malone, Schreiner, 2010; Murofushi, Kaga, 2009; Sheykholeslami, Kaga, 2002; Jacobson, Mccaslin, 2007; Todd et al., 2000).

Активация саккуллюса происходит также, когда большие группы людей вокализируют вместе, например, в хоре или толпе на концерте или спортивном мероприятии (Todd, 2001; Todd, Cody, 2000; Trivelli et al., 2013). Это объясняет тот факт, что при долговременном воздействии громких низкочастотных звуков могут возникать вестибулярные симптомы. С другой стороны, определенные виды музыкальных упражнений могут использоваться для развития функций саккуллюса. Например, для этих целей можно использовать занятия на ударных музыкальных инструментах.

Развитие вестибулярного слуха связано с ритмическим развитием ребенка, так как ритм музыки и языка относится к низкочастотным компонентам. Было проведено исследование о связи вестибулярного, тактильного и слухового восприятия с овладением речью с участием 45 младенцев. Способность различать ритмические и лингвистические стимулы была определена по изменению диаметра зрачка в зависимости от случайных визуальных стимулов с течением времени с помощью айтрекера. Было показано влияние ритма на овладение языком (Russo et al., 2023).

Необходимо учитывать, что низкочастотный диапазон важен для восприятия гласных звуков. Характеристики низкочастотных звуков, которые нужны для восприятия гласных, кодируются на уровне ствола. Низкочастотные звуки стимулируют афференты саккуллюса, затем волокна слухового нерва синхронизируются с низкочастотными звуками, что и помогает различению гласных (May, 2010; Young, 2010). Саккуллюс активируется в диапазоне от 100 до 1000 гц, поэтому в русском языке в диапазон активации саккуллюса попадают все гласные звуки, а также согласные В, Д, З, М, Б, Л.

Известно, что младенцы используют диапазон вестибулярного слуха для определения границ слов (Hartley, King, 2010). Но и взрослые в тональных языках (китайский, вьетнамский, тайский) используют вестибулярный слух для понимания речи. В европейских языках для понимания смысла высказывания важную роль играет ударение, в распознавании которого также помогает вестибулярный слух (Abrams, Kraus, 2009).

Функции саккулюса также важны для выявления различий между слышимой речью других людей и собственной звучащей речью. Восприятие речи и артикулируемая речь связаны с сопоставлением услышанных звуков с артикуляцией, а также с сопоставлением артикуляционных движений с услышанными звуками и подавлением нейронного ответа на собственные вокализации в областях мозга, связанных с обработкой речи. Именно саккулюс является центром механизма фонетической саморегуляции с обратной связью (Todd et al., 2014).

Выводы:

1. Вестибулярный (саккулярный) слух играет важную роль в понимании речи, обеспечивая различение границ фонем, интонации, ударения, различение гласных звуков и некоторых согласных.

2. В условиях шума саккулярный слух взаимодействует с кохлеарным слухом, помогая восприятию речи.

3. Так как диапазон вестибулярного слуха только частично пересекается с диапазоном речи, вероятно, его можно развивать средствами музыки, в частности, с помощью музыкально-ритмических упражнений, игре на ударных музыкальных инструментах.

4. Данные о том, как вестибулярный слух влияет на восприятие речи, могут быть полезны всем специалистам, занимающимся речью и языком.

5. Функции саккулюса формируются внутриутробно, уже на 5-й день жизни можно выявить детей с возможным нарушением вестибулярного слуха с помощью цВМВП.

Литература

- Abrams D.A, Kraus N. Auditory Pathway Representations of Speech Sounds in Humans // Handbook of Clinical Audiology. Ed. by J. Katz, M. Chasin, K. English, L.J. Hood, K.L. Tillery. Philadelphia: Wolters Kluwer Health, 2015. Pp. 527–544.
- Burkard R.F., Secor C. Overview of auditory evoked potentials // Handbook of Clinical Audiology. Ed. by J. Katz, L. Medwetsky, R. Burkard. New York: Lippincott Williams & Wilkins, 2002. Pp. 233–248.
- Church M.W, Kaltenbach J.A. Hearing, speech, language, and vestibular disorders in the fetal alcohol syndrome: a literature review // Alcohol Clinical & Experimental Research. 1997. Vol. 21 (3). Pp. 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1997.tb03796.x>
- Colebatch J.G. Assessing saccular, (otolith) function in man // Journal of the Acoustical Society of America. 2006. Vol. 119 (5). 3432. <https://doi.org/10.1121/1.4786895>
- Cushing S.L., Papsin B.C. Cochlear Implants and Children with Vestibular Impairments // Seminars in Hearing. 2018. Vol. 39 (3). Pp. 305–320. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666820>
- Elangovan S., Spankovich C. Diabetes and Auditory-Vestibular Pathology // Seminars in Hearing. 2019. Vol. 40 (4). Pp. 292–299. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697033>
- Emami S.F, Pourbakht A., Daneshi A., Sheykholeslami K., Emamjome H., Kamali M. Sound sensitivity of the saccule for low frequencies in healthy adults // International Scholarly Research Notices. 2013. 429680. <https://doi.org/10.1155/2013/429680>
- Emami S.F., Pourbakht A., Sheykholeslami K., Kammali M., Behnoud F., Daneshi A. Vestibular hearing and speech processing // International Scholarly Research Notices. 2012. 850629. <https://doi.org/10.5402/2012/850629>
- Fishman Y.I., Steinschneider M. Formation of auditory streams // The Oxford Handbook of Auditory Science: The Auditory Brain. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford UP, 2010. Pp. 215–246. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0010>
- Guinan J.J. Acoustically responsive fibers in the mammalian vestibular nerve // Journal of the Acoustical Society of America. 2006. Vol. 119 (5). 3432. <https://doi.org/10.1121/1.4786894>
-

-
- Hanes D.A., McCollum G. Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms // *Journal of Vestibular Research*. 2006. Vol. 16 (3). Pp. 75–91. <https://doi.org/10.3233/VES-2006-16301>
- Harris L.R. Does the vestibular system exert specific or general influences on cognitive processes? // *Cognitive Neuropsychology*. 2020. Vol. 37 (7–8). Pp. 430–432. <https://doi.org/10.1080/02643294.2020.1785412>
- Hartley D., King A.J. Development of the auditory pathway // *The Oxford Handbook of Auditory Science: The Auditory Brain*. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford UP, 2010. Pp. 361–386. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0015>
- Isaac V., Olmedo D., Aboitiz F., Delano P.H. Altered Cervical Vestibular-Evoked Myogenic Potential in Children with Attention Deficit and Hyperactivity Disorder // *Frontiers in Neurology*. 2017. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00090>
- Jacobson G.P., Mccaslin D.L. The vestibular evoked myogenic potential and other sonomotor evoked potentials // *Auditory Evoked Potentials Basic Principles and Clinical Application*. Ed. by R.F. Burkard, J.J. Eggermont, M. Don. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2007. Pp. 572–598.
- Lotfi Y., Rezazadeh N., Moossavi A., Haghgoo H.A., Rostami R., Bakhshi E., Badfar F., Farokhi Moghadam S., Sadeghi-Firoozabadi V., Khodabandelou Y. Rotational and Collic Vestibular-Evoked Myogenic Potential Testing in Normal Developing Children and Children With Combined Attention Deficit/Hyperactivity Disorder // *Ear and Hearing*. 2017. Vol. 38 (6). Pp. e352–e358. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000451>
- Malone B., Schreiner C.E. Time-varying sounds: amplitude envelope modulations // *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain*. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford University Press, 2010. Pp. 125–148. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0006>
- May B.F. Sound location: monaural cues and spectral cues for elevation // *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain*. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford University Press, 2010. Pp. 303–333. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0013>
- McNerney K.M., Lockwood A.H., Coad M.L., Wack D.S., Burkard R.F. Use of 64-channel electroencephalography to study neural otolith-evoked responses // *Journal of the American Academy of Audiology*. 2011. Vol. 22 (3). Pp. 143–155. <https://doi.org/10.3766/jaaa.22.3.3>
- Murofushi T., Kaga K. Sound sensitivity of the vestibular end-organs and sound evoked vestibulocollic reflexes in mammals // *Vestibular Evoked Myogenic Potentials*. Ed. by T. Murofushi, K. Kaga. Tokyo: Springer, 2009. Pp. 20–22. https://doi.org/10.1007/978-4-431-85908-6_3
- Rine R.M. Vestibular Rehabilitation for Children // *Seminars in Hearing*. 2018. Vol. 39 (3). Pp. 334–344. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666822>
- Rosengren S.M., Welgampola M.S., Colebatch J.G. Vestibular evoked myogenic potentials: past, present and future // *Clinical Neurophysiology*. 2010. Vol. 121 (5). Pp. 636–651. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.10.016>
- Russo S., Carnovalini F., Calignano G., Arfé B., Rodà A., Valenza E. Linking vestibular, tactile, and somatosensory rhythm perception to language development in infancy // *Cognition*. 2024. Vol. 243. 105688. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105688>
- Scott S.K., Sinex D.G. Speech // *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain*. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford University Press, 2010. Pp. 193–214. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0009>
- Sheykhholeslami K., Kaga K. The otolithic organ as a receptor of vestibular hearing revealed by vestibular-evoked myogenic potentials in patients with inner ear anomalies // *Hearing Research*. Vol. 165 (1–2). Pp. 62–67. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00278-2](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00278-2)
- Todd N. Evidence for a behavioral significance of saccular acoustic sensitivity in humans // *Journal of the Acoustical Society of America*. 2001. Vol. 110 (1). Pp. 380–390. <https://doi.org/10.1121/1.1373662>
- Todd N.P., Cody F.W. Vestibular responses to loud dance music: a physiological basis of the rock and roll threshold? // *Journal of the Acoustical Society of America*. 2000. Vol. 107 (1). Pp. 496–500. <https://doi.org/10.1121/1.428317>
-

-
- Todd N.P.M., Cody F.W.J., Banks J.R. A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials?: implications for human responses to loud sounds // *Hearing Research*. 2000. Vol. 141 (1–2). Pp. 180–188.
- Todd N.P.M., Paillard A.C., Kluk K., Whittle E., Colebatch J. Vestibular receptors contribute to cortical auditory evoked potentials // *Hearing Research*. 2014. Vol. 309 (3). Pp. 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.11.008>
- Trivelli M., Potena M., Frari V., Petitti T., Deidda V., Salvinelli F. Compensatory role of saccule in deaf children and adults: novel hypotheses // *Medical Hypotheses*. 2013. Vol. 80 (1). Pp. 43–46. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.10.006>
- Verbecque E., Marijnissen T., De Belder N., Van Rompaey V., Boudewyns A., Van de Heyning P., Vereeck L., Halleman A. Vestibular (dys)function in children with sensorineural hearing loss: a systematic review // *International Journal of Audiology*. 2017. Vol. 56 (6). Pp. 361–381. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1281444>
- Wang R., Chao X., Luo J., Zhang D., Xu J., Liu X., Fan Z., Wang H., Xu L. Objective vestibular function changes in children following cochlear implantation // *Journal of Vestibular Research*. 2022. Vol. 32 (1). Pp. 29–37. <https://doi.org/10.3233/VES-190763>
- Wiener-Vacher S.R., Hamilton D.A., Wiener S.I. Vestibular activity and cognitive development in children: perspectives // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. 2013. Vol. 7. 92. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00092>
- Yao Y., Zhao Z., Qi X., Jia H., Zhang L. cVEMP and VAT for the diagnosis of vestibular migraine // *European Journal of Clinical Investigation*. 2002. Vol. 52 (1). e13657. <https://doi.org/10.1111/eci.13657>
- Young E.D. Level and spectrum // *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain*. Ed. by A. Rees, A.R. Palmer. New York: Oxford University Press, 2010. Pp. 93–124. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0005>
- Young Y.H. Assessment of functional development of the otolithic system in growing children: a review // *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2015. Vol. 79 (4). Pp. 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.01.015>

References

- Abrams, D. A., & Kraus, N. (2015). Auditory Pathway Representations of Speech Sounds in Humans. In J. Katz, M. Chasin, K. English, L.J. Hood & K. L. Tillery (Eds.), *Handbook of Clinical Audiology* (pp. 527–544). Philadelphia: Wolters Kluwer Health.
- Burkard, R. F., & Secor, C. (2002). Overview of auditory evoked potentials. In J. Katz, L. Medwetsky & R. Burkard (Eds.), *Handbook of Clinical Audiology* (pp. 233–248). New York: Lippincott Williams & Wilkins.
- Church, M. W., & Kaltenbach, J. A. (1997). Hearing, speech, language, and vestibular disorders in the fetal alcohol syndrome: a literature review. *Alcohol Clinical & Experimental Research*, 21(3), 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1997.tb03796.x>
- Colebatch, J. G. (2006). Assessing saccular, (otolith) function in man. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), 3432. <https://doi.org/10.1121/1.4786895>
- Cushing, S. L., & Papsin, B. C. (2018). Cochlear Implants and Children with Vestibular Impairments. *Seminars in Hearing*, 39(3), 305–320. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666820>
- Elangovan, S., & Spankovich, C. (2019). Diabetes and Auditory-Vestibular Pathology. *Seminars in Hearing*, 40(4), 292–299. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1697033>
- Emami, S. F., Pourbakht, A., Daneshi, A., Sheykholeslami, K., Emamjome, H., & Kamali, M. (2013). Sound sensitivity of the saccule for low frequencies in healthy adults. *International Scholarly Research Notices*, 429680. <https://doi.org/10.1155/2013/429680>
- Emami, S. F., Pourbakht, A., Sheykholeslami, K., Kammali, M., Behnoud, F., & Daneshi, A. (2012). Vestibular hearing and speech processing. *International Scholarly Research Notices*, 850629. <https://doi.org/10.5402/2012/850629>
- Fishman, Y. I., & Steinschneider, M. (2010). Formation of auditory streams. In A. Rees & A.R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science: The Auditory Brain* (pp. 215–246). New York: Oxford UP. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0010>
-

-
- Guinan, J. J. (2006). Acoustically responsive fibers in the mammalian vestibular nerve. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), 3432. <https://doi.org/10.1121/1.4786894>
- Hanes, D. A., & McCollum, G. (2006). Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms. *Journal of Vestibular Research*, 16(3), 75–91. <https://doi.org/10.3233/VES-2006-16301>
- Harris, L. R. (2020). Does the vestibular system exert specific or general influences on cognitive processes? *Cognitive Neuropsychology*, 37(7–8), 430–432. <https://doi.org/10.1080/02643294.2020.1785412>
- Hartley, D., & King, A. J. (2010). Development of the auditory pathway. In A. Rees & A.R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science: The Auditory Brain* (pp. 361–386). New York: Oxford UP. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0015>
- Isaac, V., Olmedo, D., Aboitiz, F., & Delano, P. H. (2017). Altered Cervical Vestibular-Evoked Myogenic Potential in Children with Attention Deficit and Hyperactivity Disorder. *Frontiers in Neurology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00090>
- Jacobson, G. P., & Mccaslin, D. L. (2007). The vestibular evoked myogenic potential and other sonomotor evoked potentials. In R. F. Burkard, J. J. Eggermont & M. Don. (Eds.), *Auditory Evoked Potentials Basic Principles and Clinical Application* (pp. 572–598). Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins.
- Lotfi, Y., Rezazadeh, N., Moossavi, A., Haghgoo, H. A., Rostami, R., Bakhshi, E., Badfar, F., Farokhi Moghadam, S., Sadeghi-Firoozabadi, V., & Khodabandelou, Y. (2017). Rotational and Collic Vestibular-Evoked Myogenic Potential Testing in Normal Developing Children and Children With Combined Attention Deficit/Hyperactivity Disorder. *Ear and Hearing*, 38(6), e352–e358. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000451>
- Malone, B., & Schreiner, C. E. (2010). Time-varying sounds: amplitude envelope modulations. In A. Rees & A. R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain* (pp. 125–148). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0006>
- May, B. F. (2010). Sound location: monaural cues and spectral cues for elevation. In A. Rees & A. R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain* (pp. 303–333). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0013>
- McNerney, K. M., Lockwood, A. H., Coad, M. L., Wack, D. S., & Burkard, R. F. (2011). Use of 64-channel electroencephalography to study neural otolith-evoked responses. *Journal of the American Academy of Audiology*, 22(3), 143–155. <https://doi.org/10.3766/jaaa.22.3.3>
- Murofushi, T., & Kaga, K. (2009). Sound sensitivity of the vestibular end-organs and sound evoked vestibulocollic reflexes in mammals. In T. Murofushi & K. Kaga (Eds.), *Vestibular Evoked Myogenic Potentia* (pp. 20–22). Tokyo: Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-85908-6_3
- Rine, R. M. (2018). Vestibular Rehabilitation for Children. *Seminars in Hearing*, 39(3), 334–344. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666822>
- Rosengren, S. M., Welgampola, M. S., & Colebatch, J. G. (2010). Vestibular evoked myogenic potentials: past, present and future. *Clinical Neurophysiology*, 121(5), 636–651. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.10.016>
- Russo, S., Carnovalini, F., Calignano, G., Arfé, B., Rodà, A., & Valenza E. (2024). Linking vestibular, tactile, and somatosensory rhythm perception to language development in infancy. *Cognition*, 243, 105688. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2023.105688>
- Scott, S. K., & Sinex, D. G. (2010). Speech. In A. Rees, A.R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain* (pp. 193–214). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0009>
- Sheykhholeslami, K., & Kaga, K. (2002). The otolithic organ as a receptor of vestibular hearing revealed by vestibular-evoked myogenic potentials in patients with inner ear anomalies. *Hearing Research*, 165(1–2), 62–67. [https://doi.org/10.1016/s0378-5955\(02\)00278-2](https://doi.org/10.1016/s0378-5955(02)00278-2)
- Todd, N. (2001). Evidence for a behavioral significance of saccular acoustic sensitivity in humans. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110(1), 380–390. <https://doi.org/10.1121/1.1373662>
- Todd, N. P. M., Cody, F. W. J., & Banks, J. R. (2000). A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials?: implications for human responses to loud sounds. *Hearing Research*, 141(1–2), 180–188.
-

-
- Todd, N. P. M., Paillard, A. C., Kluk, K., Whittle, E., & Colebatch, J. (2014). Vestibular receptors contribute to cortical auditory evoked potentials. *Hearing Research*, 309(3), 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.11.008>
- Todd, N. P., & Cody, F. W. (2000). Vestibular responses to loud dance music: a physiological basis of the rock and roll threshold? *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(1), 496–500. <https://doi.org/10.1121/1.428317>
- Trivelli, M., Potena, M., Frari, V., Petitti, T., Deidda, V., & Salvinelli, F. (2013). Compensatory role of saccule in deaf children and adults: novel hypotheses. *Medical Hypotheses*, 80(1), 43–46. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2012.10.006>
- Verbecque, E., Marijnissen, T., De Belder, N., Van Rompaey, V., Boudewyns, A., Van de Heyning, P., Vereeck, L., & Halleman, A. (2017). Vestibular (dys)function in children with sensorineural hearing loss: a systematic review. *International Journal of Audiology*, 56(6), 361–381. <https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1281444>
- Wang, R., Chao, X., Luo, J., Zhang, D., Xu, J., Liu, X., Fan, Z., Wang, H., & Xu, L. (2022). Objective vestibular function changes in children following cochlear implantation. *Journal of Vestibular Research*, 32(1), 29–37. <https://doi.org/10.3233/VES-190763>
- Wiener-Vacher, S. R., Hamilton, D. A., & Wiener, S. I. (2013). Vestibular activity and cognitive development in children: perspectives. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7, 92. <https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00092>
- Yao, Y., Zhao, Z., Qi, X., Jia, H., & Zhang, L. (2002). cVEMP and VAT for the diagnosis of vestibular migraine. *European Journal of Clinical Investigation*, 52(1), e13657. <https://doi.org/10.1111/eci.13657>
- Young, E. D. (2010). Level and spectrum. In A. Rees & A. R. Palmer (Eds.), *The Oxford Handbook of Auditory Science the Auditory Brain* (pp. 93–124). New York: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199233281.013.0005>
- Young, Y. H. (2015). Assessment of functional development of the otolithic system in growing children: a review. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 79(4), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.01.015>

Информация об авторе

Ефимова Виктория Леонидовна, доктор психологических наук, профессор кафедры возрастной психологии и педагогики семьи Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена; почтовый адрес: Россия, 191186, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48; электронная почта: prefish@ya.ru

Заявление о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

История статьи

Поступила в редакцию 13.04.24. Принята к печати 22.04.24.

Information about the author

Victoria L. Efimova, Doctor of Psychological Sciences, Professor of the Department of Developmental Psychology and Family Pedagogy, Herzen State Pedagogical University of Russia; Postal Address: Russia, 191186, Saint Petersburg, 48, Moika Embankment; e-mail: prefish@ya.ru

Conflicts of interest

The author declares no conflicts of interests.

Article history

Received 13 April 2024. Accepted 22 April 2024.
