

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED626401>

Обзорная статья

Связь функционального состояния вестибулярной системы человека с когнитивными функциями

В.Л. Ефимова, И.П. Волкова

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья является обзором научных исследований о влиянии вестибулярной системы на когнитивные функции человека. Вестибулярный аппарат достаточно хорошо изучен. Исследования последних десятилетий с использованием методов функциональной томографии показали, что он имеет обширные связи с подкорковыми и корковыми структурами мозга, которые обеспечивают когнитивную деятельность. Выдвигаются гипотезы, что проведение и обработка мозгом биоэлектрических импульсов, которые регистрирует вестибулярный аппарат, создает необходимый фон для протекания всех когнитивных процессов. Вестибулярный аппарат имеет связи с лимбической системой, гиппокампом, стриатумом и неокортексом. Поэтому вестибулярные дисфункции могут снижать способность к обучению, стать причиной нарушений внимания, памяти, исполнительных функций, вызывать дезориентацию, влиять на уровень стресса. Актуальным направлением исследований является изучение влияния вестибулярной сенсорной реактивности на способность детей к обучению. Это влияние долгое время недооценивалось, так как было принято считать, что двигательное и когнитивное развитие происходят независимо друг от друга. Механизмы, связывающие вестибулярные дисфункции с когнитивными нарушениями, пока изучены недостаточно. Необходимы дальнейшие исследования, которые оценят возможное влияние вестибулярных дисфункций на внимание, память, речь. Такие исследования уже проводятся. Их результаты наиболее актуальны для пациентов с нейродегенеративными расстройствами и для детей с особенностями развития.

Ключевые слова: вестибулярная система; вестибулярная реактивность; когнитивные функции; память; внимание; исполнительные функции; стресс.

Как цитировать

Ефимова В.Л., Волкова И.П. Связь функционального состояния вестибулярной системы человека с когнитивными функциями // Педиатр. 2023. Т. 14. № 6. С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED626401>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED626401>

Review Article

Vestibular system and human cognitive functions

Victoria L. Efimova, Irina P. Volkova

Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

The article is a review of scientific research on the influence of the vestibular system on human cognitive functions. The vestibular apparatus is well studied. Research in recent decades using functional tomography techniques has shown that it has extensive connections with the subcortical and cortical structures of the brain that provide cognitive activity. Hypotheses are put forward that the conduction and processing of bioelectric impulses by the brain, which are recorded by the vestibular apparatus, creates the necessary background for the course of all cognitive processes. The vestibular apparatus has connections with the limbic system, hippocampus, striatum and neocortex. Therefore, vestibular dysfunctions can reduce the ability to learn, cause impaired attention, memory, executive functions, cause disorientation, and affect stress levels. An urgent area of research is the study of the influence of vestibular sensory reactivity on children's learning ability. This influence has long been underestimated, since it was generally assumed that motor and cognitive development occur independently of each other. The mechanisms linking vestibular dysfunction with cognitive impairment have not yet been sufficiently studied. Further studies are needed to assess the possible impact of vestibular dysfunctions on attention, memory, and speech. Such studies are already underway. Their results are most relevant for patients with neurodegenerative disorders and for children with special needs.

Keywords: vestibular system; vestibular reactivity; cognition; memory; attention; executive functions; stress.

To cite this article

Efimova VL, Volkova IP. Vestibular system and human cognitive functions. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2023;14(6):71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED626401>

Received: 11.10.2023

Accepted: 23.11.2023

Published: 29.12.2023

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия опубликованы результаты экспериментальных исследований, которые демонстрируют, что вестибулярная система в большей степени влияет на когнитивные функции человека, чем было принято считать ранее.

Благодаря обширным центральным связям вестибулярная система человека не только вызывает рефлекс. В результате связей вестибулярной системы с лимбической системой, гиппокампом, стриатумом и неокортексом вестибулярные дисфункции могут оказывать влияние на уровень стресса, память, исполнительные функции, способность к обучению, внимание, осознание своего тела, социализацию, способность к мысленной ротации объектов, мысленному представлению трехмерного пространства, качество сна и др. [1, 12, 13].

Пациенты с вестибулярными расстройствами могут демонстрировать долгосрочный дефицит в различных когнитивных областях [7]. Механизмы, связывающие вестибулярную систему с когнитивными функциями, пока недостаточно хорошо изучены, хотя и выявлены определенные нейробиологические корреляты. Требуются дополнительные диагностические инструменты для выявления лиц, подверженных риску когнитивных нарушений. Необходимы также дальнейшие исследования, чтобы определить, могут ли вестибулярные тренировки улучшить когнитивные функции.

Исследования влияния вестибулярной стимуляции на когнитивные способности человека обычно проводятся при наличии у испытуемых вестибулярных нарушений (устанавливается с помощью инструментальной диагностики), в условиях микрогравитации в космосе, при воздействии на вестибулярный аппарат, временно изменяющем его функционирование (гальваническая стимуляция, калорические пробы и др.). Чаще всего исследования с участием здоровых добровольцев относятся к сфере космической медицины. Исследования состояния вестибулярной функции у детей пока немногочисленны. Это связано с тем, что детей труднее обследовать и они редко жалуются на вестибулярные симптомы, такие как головокружение и дезориентация.

ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ ДИСФУНКЦИИ У ДЕТЕЙ

В последние десятилетия было установлено, что вестибулярные дисфункции встречаются у детей достаточно часто. Ранее предполагалось, что они выявляются только у детей с нарушениями слуха.

В настоящее время вестибулярные нарушения также диагностируются у детей с недоношенностью, цитомегаловирусом, легкими сотрясениями мозга, хроническими отитами, врожденной кривошеей, подростковым идиопатическим сколиозом, детским церебральным параличом,

синдромом гиперактивности с дефицитом внимания, аутизмом, трудностями в обучении в школе.

В отличие от взрослых, у детей, которые имеют вестибулярные дисфункции с момента рождения или с младенчества, наблюдается прогрессирующая задержка развития. Сложности в диагностике создают то, что маленькие дети не могут описать свои симптомы вестибулярных нарушений: они только избегают определенных движений или плачут. Поэтому для обследования детей важны инструментальные методы диагностики [5, 8, 10, 19, 27].

Периферические или центральные вестибулярные нарушения у детей могут приводить к задержкам в развитии моторики и постурального контроля, нестабильности взгляда, когнитивным нарушениям. Методы диагностики и реабилитации для взрослых пациентов с вестибулярной симптоматикой достаточно хорошо разработаны, но не все они применимы к детям. Возможно, потребуются модифицировать эти методы с учетом специфических проблем с поведением и двигательной активностью детей. Исследователям следует разработать технологию, позволяющую выполнять вестибулярные упражнения увлекательным, функциональным и эффективным способом [20].

Появляются исследования, демонстрирующие, что дети с вестибулярными дисфункциями испытывают те же трудности при выполнении когнитивных задач, что и взрослые с вестибулярными нарушениями. В исследовании [14] участвовали 13 детей (средний возраст 10,5 лет) с вестибулярными нарушениями и 60 детей контрольной группы. Участники эксперимента выполняли нейропсихологические тесты, включающие задания на зрительно-пространственную рабочую память, избирательное зрительное внимание, мысленное вращение объектов и ориентацию в пространстве. Дети с вестибулярным дефицитом демонстрировали те же когнитивные трудности, что и взрослые пациенты с вестибулярными нарушениями как в задачах, связанных с динамическими когнитивными процессами, создающих более высокую нагрузку на внимание, так и в задачах, требующих статических когнитивных процессов.

ВЕСТИБУЛЯРНЫЕ НАРУШЕНИЯ У ПОЖИЛЫХ ЛЮДЕЙ

Основной вывод этих недавних исследований заключается в том, что вестибулярная дисфункция, возможно, любого типа, может привести к когнитивным нарушениям, и это особенно актуально для пожилых людей. Есть данные, подтверждающие гипотезу, что вестибулярная дисфункция может быть фактором риска развития деменции [22].

ВЕСТИБУЛЯРНАЯ СИСТЕМА И ПАМЯТЬ

За последние два десятилетия накопились данные, демонстрирующие, что вестибулярная система имеет обширные связи с областями мозга, вовлеченными

в пространственную память, такими как гиппокамп. Она также тесно взаимодействует с областями, связанными с произвольным контролем моторики, такими как стриатум в базальных ганглиях. В свою очередь взаимодействие между стриатумом и гиппокампом является важным для обработки мозгом воспоминаний. Данные, касающиеся этих связей и их влияния на когнитивные функции, имеют важное значение для понимания и лечения болезней Альцгеймера, Паркинсона и других неврологических расстройств [23].

В работе [11] описана оценка влияния вестибулярной стимуляции на пространственную оперативную память взрослых участников эксперимента с вестибулярными нарушениями. Были обследованы 263 пациента с односторонним или двусторонним хроническим вестибулярным дефицитом до и после вестибулярного тренинга. Полученные данные сравнили с показателями 834 добровольцев, из них 430 здоровых людей, 403 пациента с хроническими вестибулярными нарушениями, которые не участвовали в вестибулярном тренинге. У всех пациентов с вестибулярными нарушениями выявлено значимое улучшение оперативной пространственной памяти после вестибулярного тренинга.

Исследователи связывают вестибулярные дисфункции с нарушением зрительной кратковременной памяти. Однако остается неясным, возникает ли это нарушение как прямой результат вестибулярной дисфункции или является следствием сопутствующих изменений настроения, уровня усталости, нарушений сна.

Совпадение и взаимозависимость этих сопутствующих симптомов оценивали у 101 пациента с диагностированными вестибулярными нарушениями в работе [21]. Более 50 % тестируемых показали снижение зрительно-пространственной кратковременной памяти, 60 и 37 % превысили пороговые значения по шкале тревоги и депрессии соответственно, 70 % превысили пороговые значения по шкале проявлений усталости, 44 % сообщили о дневной сонливости, и у 78 % показатель выше порогового значения по индексу качества сна.

Высокая степень совпадения этих симптомов дает основание сделать вывод о существовании вестибулярного когнитивно-аффективного синдрома. Статистическая обработка полученных данных показала, что ухудшение памяти было в большей степени связано именно с вестибулярной дисфункцией. С точки зрения реабилитации подразумевается, что если вестибулярное расстройство будет успешно вылечено, то и проблемы с памятью тоже исчезнут.

Связь между вестибулярными нарушениями и пространственной памятью, а также возможность улучшения памяти благодаря восстановлению нормального функционирования вестибулярной системы показана и на животных моделях. Асимметрия сенсорной реактивности вестибулярного аппарата после односторонней вестибулярной нейроэктомии у крыс привела к нарушениям нейпластичности в гиппокампе [9]. Эти результаты подчеркивают

решающую роль симметричной вестибулярной информации в пространственной памяти и способствуют лучшему пониманию когнитивных расстройств, наблюдаемых у пациентов с вестибулярными нарушениями.

Недавние исследования с использованием магнитно-резонансной томографии показывают, что у людей с двусторонним поражением вестибулярного аппарата наблюдается атрофия гиппокампа, которая коррелирует со степенью нарушения пространственной памяти. Эти результаты согласуются с результатами исследований на животных. Таким образом, люди с вестибулярными расстройствами, вероятно, будут испытывать когнитивные трудности, которые не обязательно связаны с головокружением. Поэтому такие трудности могут возникать даже у пациентов, которые в остальном хорошо компенсированы. Возможно, поэтому люди с вестибулярным дефицитом часто страдают депрессией и тревожными расстройствами [24].

Магнитно-резонансные томографические исследования указывают на прямую связь между размером гиппокампа, навигацией в пространстве и пространственной памятью. Кроме того, эти данные показали, что впервые продемонстрированная на людях пространственная навигация критически зависит от сохранной вестибулярной функции, даже когда они неподвижны, например без какой-либо фактической вестибулярной или соматосенсорной стимуляции [3].

В индийском исследовании показано, что вестибулярная стимуляция с помощью обычных качелей снизила предэкзаменационный стресс, улучшила вербальную и пространственную память у студентов колледжа [15]. В исследовании участвовали 240 здоровых студентов колледжа в возрасте 18–24 лет. Участники были случайным образом распределены на четыре группы — экспериментальные, которые получали вестибулярную стимуляцию (юноши и девушки), и контрольные группы (юноши и девушки), без стимуляции. Вестибулярную стимуляцию проводили, предлагая участникам раскачиваться на качелях в комфортном режиме. Для оценки когнитивных функций использовали тесты на пространственную и вербальную память.

Исходные показатели пространственной и вербальной памяти в начале исследования значимо не различались между группами. Показатели вербальной памяти были снижены, вероятно из-за стресса, связанного с предстоящим экзаменом. Значимое улучшение пространственной памяти после вестибулярной стимуляции наблюдалось у юношей, но не у девушек. Значимое улучшение показателей вербальной памяти — как у юношей, так и у девушек, получавших вестибулярную стимуляцию.

ВЕСТИБУЛЯРНАЯ СИСТЕМА И ЭМОЦИИ

Вестибулярная система имеет широко распространенные связи в центральной нервной системе. В частности, есть сообщения об активации глубоких лимбических

областей после вестибулярной стимуляции [17, 18, 26]. Функционирование этих областей достаточно трудно модулировать у человека. Судя по предварительным данным, вестибулярная стимуляция влияет на настроение и аффективную обработку событий.

Исследователи задались вопросом, участвует ли вестибулярная система также в мотивации и реакции на вознаграждение [2]. Эволюционные теории предполагают, что зрительно-вестибулярный конфликт может играть определенную роль в предотвращении взаимодействия с объектами, которые ранее вызывали реакцию отвращения. Этот конфликт прекрасно выполняет роль предупреждающего сигнала, который вырабатывается в результате тактильного контакта с нейротоксинами или их проглатывания. Таким образом, первый вопрос заключался в том, изменяет ли вестибулярная стимуляция чувствительность к вознаграждению. Во-вторых, авторы исследования стремились оценить, по-разному ли распределяется внимание в пространстве при воздействии высоко мотивирующих стимулов и модулируется ли это взаимодействие вестибулярной системой в дальнейшем.

У 30 здоровых участников изучали изменение мотивации в результате гальванической стимуляции вестибулярного аппарата. Выявлено, что снижение чувствительности к вознаграждениям было связано с изменением функционирования вестибулярной системы в результате стимуляции — ранее предпочитаемые объекты стали казаться им менее привлекательными. Авторы считают, что гальваническая стимуляция вестибулярного аппарата может быть безопасным и многообещающим способом лечения пациентов с различными видами зависимостей.

Тревожность — одно из наиболее частых проявлений у пациентов с вестибулярными расстройствами. Показано, что тревога, стресс, обсессивные и депрессивные расстройства могут быть как причинами эпизодических и хронических вестибулярных симптомов, так и вторичными последствиями вестибулярных расстройств [26].

Исследования с участием пациентов с психическими расстройствами и пациентов с вестибулярными нарушениями показывают высокую степень сочетаемости вестибулярных дисфункций и психиатрических симптомов. Показано благотворное влияние вестибулярной стимуляции на состояние пациентов с психическими расстройствами. Вестибулярное воздействие может изменять настроение и влиять на аффективную сферу [16].

В последние годы появились сообщения, что вестибулярная стимуляция эффективна для снятия стресса и, возможно, для улучшения эмоционального состояния пациентов. Лимбическая система в первую очередь участвует в регуляции эмоций. Учитывая обширные связи между вестибулярной и лимбической системами, вполне вероятно, что методы вестибулярной стимуляции могут быть полезны для воздействия на эмоции [17].

Показано, что слабая или умеренная вестибулярная стимуляция (с помощью гальванических токов или

использования качелей) может оказывать благотворное воздействие на стресс и настроение у здоровых взрослых, а также способствовать улучшению качества сна у людей и грызунов [4].

ОГРАНИЧЕННОСТЬ КОГНИТИВНЫХ РЕСУРСОВ

Хотя когнитивные трудности людей с вестибулярными нарушениями уже хорошо документированы, природа этих трудностей и причина высокой вариативности результатов исследования когнитивных способностей не до конца ясны. Есть гипотеза об ограниченном количестве когнитивных ресурсов, которые могут быть выделены на выполнение когнитивных задач на этапах компенсации вестибулярных расстройств. Этот основной механизм ограничения внимания может приводить к различным профилям компенсации у пациентов с когнитивной дисфункцией или без нее, в зависимости от стадии компенсации.

Предлагаются меры для оценки гипотезы о когнитивно-вестибулярной компенсации [16].

Несмотря на растущее количество доказательств связи вестибулярных дисфункций с когнитивными нарушениями, вестибулярные дисфункции у детей изучены недостаточно. Вероятно, причина в том, что у детей часто отсутствуют жалобы на головокружение и дезориентацию, которые являются показанием для обследования вестибулярной системы инструментальными методами. Кроме того, некоторые виды инструментальной диагностики вестибулярной функции сложно использовать при обследовании детей из-за того, что они вызывают неприятные ощущения [25, 27].

Тем не менее опубликованные исследования показывают, что к числу детей с вестибулярными дисфункциями ежегодно добавляются сотни тысяч младенцев. Поскольку в этом возрасте формируется стабильность взгляда, которая зависит от вестибулярной системы, эти дисфункции могут снижать способность ребенка к обучению. В частности, в результате вестибулярной гипореактивности может возникать недостаточность вестибулоглазного рефлекса, что в свою очередь будет мешать овладению чтением. Вестибулярные дефициты выявляются у детей с различными когнитивными нарушениями. Показано, что специальные упражнения помогают нормализовать сенсорную реактивность вестибулярного аппарата [6, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральная часть вестибулярного анализатора имеет необычную анатомию, что позволяет выдвигать гипотезы о возможности влияния вестибулярной стимуляции на когнитивные функции человека. Вероятно, вестибулярные ощущения обеспечивают постоянный фон для всех видов активности человека, так как мы живем в условиях гравитации. Вестибулярная система может быть

точкой терапевтического вмешательства для пациентов с когнитивными расстройствами и детей с нарушениями развития. Влияние вестибулярной стимуляции на когнитивные функции человека является перспективной, но малоизученной темой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли одинаковый равный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bigelow R.T., Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: visuospatial ability, attention, executive function, and memory // *J Vestib Res*. 2015. Vol. 25, N. 2. P. 73–89. doi: 10.3233/VES-150544
- Blini E., Tilikete C., Farnè A., Hadj-Bouziane F. Probing the role of the vestibular system in motivation and reward-based attention // *Cortex*. 2018. Vol. 103. P. 82–99. doi: 10.1016/j.cortex.2018.02.009
- Brandt T., Schautzer F., Hamilton D.A., et al. Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans // *Brain*. 2005. Vol. 128, N. Pt 11. P. 2732–2741. doi: 10.1093/brain/awh617
- Brandt T., Dieterich M. 'Excess anxiety' and 'less anxiety': both depend on vestibular function // *Curr Opin Neurol*. 2020. Vol. 33, N. 1. P. 136–141. doi: 10.1097/WCO.0000000000000771
- Braswell J., Rine R.M. Evidence that vestibular hypofunction affects reading acuity in children // *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2006. Vol. 70, N. 11. P. 1957–1965. doi: 10.1016/j.ijporl.2006.07.013
- Braswell J., Rine R.M. Evidence that vestibular hypofunction affects reading acuity in children // *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2006. Vol. 70, N. 11. P. 1957–1965. doi: 10.1016/j.ijporl.2006.07.013
- Chari D.A., Madhani A., Sharon J.D., Lewis R.F. Evidence for cognitive impairment in patients with vestibular disorders // *J Neurol*. 2022. Vol. 269, N. 11. P. 5831–5842. doi: 10.1007/s00415-022-11289-3
- Ellis M.J., Cordingley D., Vis S., et al. Vestibulo-ocular dysfunction in pediatric sports-related concussion // *J Neurosurg Pediatr*. 2015. Vol. 16, N. 3. P. 248–255. doi: 10.3171/2015.1.PEDS14524
- El Mahmoudi N., Laurent C., Péricat D., et al. Long-lasting spatial memory deficits and impaired hippocampal plasticity following unilateral vestibular loss // *Prog Neurobiol*. 2023. Vol. 223. P. 102403. doi: 10.1016/j.pneurobio.2023.102403
- Franco E.S., Panhoca I. Vestibular function in children underperforming at school // *Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed)*. 2008. Vol. 74, N. 6. P. 815–825. doi: 10.1016/S1808-8694(15)30141-5
- Guidetti G., Guidetti R., Manfredi M., Manfredi M. Vestibular pathology and spatial working memory // *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2020. Vol. 40, N. 1. P. 72–78. doi: 10.14639/0392-100X-2189
- Hanes D.A., McCollum G. Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms // *J Vestib Res*. 2006. Vol. 16, N. 3. P. 75–91.
- Harris L.R. Does the vestibular system exert specific or general influences on cognitive processes? // *Cogn Neuropsychol*. 2020. Vol. 37, N. 7–8. P. 430–432. doi: 10.1080/02643294.2020.1785412
- Lacroix E., Edwards M.G., De Volder A., et al. Neuropsychological profiles of children with vestibular loss // *J Vestib Res*. 2020. Vol. 30, N. 1. P. 25–33. doi: 10.3233/VES-200689
- Kumar S.S., Archana R., Mukkadan J.K. Effect of vestibular stimulation on spatial and verbal memory in college students // *Natl Med J India*. 2017. Vol. 30, N. 6. P. 337–339. doi: 10.4103/0970-258X.239077
- Lacroix E., Deggouj N., Edwards M.G., et al. The cognitive-vestibular compensation hypothesis: how cognitive impairments might be the cost of coping with compensation // *Front Hum Neurosci*. 2021. Vol. 15. P. 732974. doi: 10.3389/fnhum.2021.732974
- Mast F.W., Preuss N., Hartmann M., Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: the role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture // *Front Integr Neurosci*. 2014. Vol. 8. P. 44. doi: 10.3389/fnint.2014.00044
- Rajagopalan A., Jinu K.V., Sailesh K.S., et al. Understanding the links between vestibular and limbic systems regulating emotions // *J Nat Sci Biol Med*. 2017. Vol. 8, N. 1. P. 11–15. doi: 10.4103/0976-9668.198350
- Rine R.M. Vestibular Rehabilitation for Children // *Semin Hear*. 2018. Vol. 39, N. 3. P. 334–344. doi: 10.1055/s-0038-1666822
- Seemungal B.M. The cognitive neurology of the vestibular system // *Curr Opin Neurol*. 2014. Vol. 27, N. 1. P. 125–132. doi: 10.1097/WCO.0000000000000060
- Smith L., Wilkinson D., Bodani M., et al. Short-term memory impairment in vestibular patients can arise independently of psychiatric impairment, fatigue, and sleeplessness // *J Neuropsychol*. 2019. Vol. 13, N. 3. P. 417–431. doi: 10.1111/jnp.12157

22. Smith P.F. The vestibular system and cognition // *Curr Opin Neurol*. 2017. Vol. 30, N. 1. P. 84–89. doi: 10.1097/WCO.0000000000000403
23. Smith P.F. Recent developments in the understanding of the interactions between the vestibular system, memory, the hippocampus, and the striatum // *Front Neurol*. 2022. Vol. 13. P. 986302. doi: 10.3389/fneur.2022.986302
24. Smith P.F., Zheng Y., Horii A., Darlington C.L. Does vestibular damage cause cognitive dysfunction in humans? // *J Vestib Res*. 2005. Vol. 15, N. 1. P. 1–9.

25. Sommerfleck P.A., González Macchi M.E., Weinschelbaum R., et al. Balance disorders in childhood: main etiologies according to age. Usefulness of the video head impulse test // *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016. Vol. 87. P. 148–153. doi: 10.1016/j.ijporl.2016.06.020
26. Staab J.P. Functional and psychiatric vestibular disorders // *Handb Clin Neurol*. 2016. Vol. 137. P. 341–351. doi: 10.1016/B978-0-444-63437-5.00024-8
27. Wiener-Vacher S.R., Hamilton D.A., Wiener S.I. Vestibular activity and cognitive development in children: perspectives // *Front Integr Neurosci*. 2013. Vol. 7. P. 92. doi: 10.3389/fnint.2013.00092

REFERENCES

1. Bigelow RT, Agrawal Y. Vestibular involvement in cognition: visuospatial ability, attention, executive function, and memory. *J Vestib Res*. 2015;25(2):73–89. doi: 10.3233/VES-150544
2. Blini E, Tilikete C, Farnè A, Hadj-Bouziane F. Probing the role of the vestibular system in motivation and reward-based attention. *Cortex*. 2018;103:82–99. doi: 10.1016/j.cortex.2018.02.009
3. Brandt T, Schautzer F, Hamilton DA, et al. Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans. *Brain*. 2005;128(Pt 11):2732–2741. doi: 10.1093/brain/awh617
4. Brandt T, Dieterich M. 'Excess anxiety' and 'less anxiety': both depend on vestibular function. *Curr Opin Neurol*. 2020;33(1):136–141. doi: 10.1097/WCO.0000000000000771
5. Braswell J, Rine RM. Evidence that vestibular hypofunction affects reading acuity in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2006;70(11):1957–1965. doi: 10.1016/j.ijporl.2006.07.013
6. Braswell J, Rine RM. Evidence that vestibular hypofunction affects reading acuity in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2006;70(11):1957–1965. doi: 10.1016/j.ijporl.2006.07.013
7. Chari DA, Madhani A, Sharon JD, Lewis RF. Evidence for cognitive impairment in patients with vestibular disorders. *J Neurol*. 2022;269(11):5831–5842. doi: 10.1007/s00415-022-11289-3
8. Ellis MJ, Cordingley D, Vis S, et al. Vestibulo-ocular dysfunction in pediatric sports-related concussion. *J Neurosurg Pediatr*. 2015;16(3):248–255. doi: 10.3171/2015.1.PEDS14524
9. El Mahmoudi N, Laurent C, Péricat D, et al. Long-lasting spatial memory deficits and impaired hippocampal plasticity following unilateral vestibular loss. *Prog Neurobiol*. 2023;223:102403. doi: 10.1016/j.pneurobio.2023.102403
10. Franco ES, Panhoca I. Vestibular function in children underperforming at school. *Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed)*. 2008;74(6):815–825. doi: 10.1016/S1808-8694(15)30141-5
11. Guidetti G, Guidetti R, Manfredi M, Manfredi M. Vestibular pathology and spatial working memory. *Acta Otorhinolaryngol Ital*. 2020;40(1):72–78. doi: 10.14639/0392-100X-2189
12. Hanes DA, McCollum G. Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms. *J Vestib Res*. 2006;16(3):75–91.
13. Harris LR. Does the vestibular system exert specific or general influences on cognitive processes? *Cogn Neuropsychol*. 2020;37(7–8):430–432. doi: 10.1080/02643294.2020.1785412
14. Lacroix E, Edwards MG, De Volder A, et al. Neuropsychological profiles of children with vestibular loss. *J Vestib Res*. 2020;30(1):25–33. doi: 10.3233/VES-200689
15. Kumar SS, Archana R, Mukkadan JK. Effect of vestibular stimulation on spatial and verbal memory in college students. *Natl Med J India*. 2017;30(6):337–339. doi: 10.4103/0970-258X.239077
16. Lacroix E, Deggouj N, Edwards MG, et al. The cognitive-vestibular compensation hypothesis: how cognitive impairments might be the cost of coping with compensation. *Front Hum Neurosci*. 2021;15:732974. doi: 10.3389/fnhum.2021.732974
17. Mast FW, Preuss N, Hartmann M, Grabherr L. Spatial cognition, body representation and affective processes: the role of vestibular information beyond ocular reflexes and control of posture. *Front Integr Neurosci*. 2014;8:44. doi: 10.3389/fnint.2014.00044
18. Rajagopalan A, Jinu KV, Sailesh KS, et al. Understanding the links between vestibular and limbic systems regulating emotions. *J Nat Sci Biol Med*. 2017;8(1):11–15. doi: 10.4103/0976-9668.198350
19. Rine RM. Vestibular rehabilitation for children. *Semin Hear*. 2018;39(3):334–344. doi: 10.1055/s-0038-1666822
20. Seemungal BM. The cognitive neurology of the vestibular system. *Curr Opin Neurol*. 2014;27(1):125–132. doi: 10.1097/WCO.0000000000000060
21. Smith L, Wilkinson D, Bodani M, et al. Short-term memory impairment in vestibular patients can arise independently of psychiatric impairment, fatigue, and sleeplessness. *J Neuropsychol*. 2019;13(3):417–431. doi: 10.1111/jnp.12157
22. Smith PF. The vestibular system and cognition. *Curr Opin Neurol*. 2017;30(1):84–89. doi: 10.1097/WCO.0000000000000403
23. Smith PF. Recent developments in the understanding of the interactions between the vestibular system, memory, the hippocampus, and the striatum. *Front Neurol*. 2022;13:986302. doi: 10.3389/fneur.2022.986302
24. Smith PF, Zheng Y, Horii A, Darlington CL. Does vestibular damage cause cognitive dysfunction in humans? *J Vestib Res*. 2005;15(1):1–9.
25. Sommerfleck PA, González Macchi ME, Weinschelbaum R, et al. Balance disorders in childhood: main etiologies according to age. Usefulness of the video head impulse test. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2016;87:148–153. doi: 10.1016/j.ijporl.2016.06.020
26. Staab JP. Functional and psychiatric vestibular disorders. *Handb Clin Neurol*. 2016;137:341–351. doi: 10.1016/B978-0-444-63437-5.00024-8
27. Wiener-Vacher SR, Hamilton DA, Wiener SI. Vestibular activity and cognitive development in children: perspectives. *Front Integr Neurosci*. 2013;7:92. doi: 10.3389/fnint.2013.00092

ОБ АВТОРАХ

***Виктория Леонидовна Ефимова**, д-р психол. наук, преподаватель, кафедра возрастной психологии и педагогики семьи, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»; адрес: Россия, 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, д. 48; ORCID: 0000-0001-7029-9317; eLibrary SPIN: 3546-8757; e-mail: prefish@ya.ru

Ирина Павловна Волкова, д-р психол. наук, профессор, заведующая, кафедра основ дефектологии и реабилитологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0002-8812-2832; eLibrary SPIN: 5275-4348; e-mail: volkova52@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS' INFO

***Victoria L. Efimova**, Dr. Sci. (Pedagogy), Teacher, Department of Developmental Psychology and Pedagogy of the Family, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia; address: 48 Naberezhnaya reki Moiki, Saint Petersburg, 191186, Russia; ORCID: 0000-0001-7029-9317; eLibrary SPIN: 3546-8757; e-mail: prefish@ya.ru

Irina P. Volkova, Dr. Sci. (Psychology), Professor, Head, Department of Fundamentals of Defectology and Rehabilitology, Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0002-8812-2832; eLibrary SPIN: 5275-4348; e-mail: volkova52@mail.ru