

Миронец С.А.^{1,2} Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения

Mironets S.A.^{1,2} The role of the cerebellum in the formation and functioning of reading

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Москва, Россия

² Психологический институт Российской академии образования, Москва, Россия

Традиционно считается, что мозжечок контролирует скоординированные движения, но при этом он также участвует в работе когнитивных функций. Например, задняя латеральная часть правого полушария мозжечка вовлечена в речевые функции, так как имеет пересекающиеся анатомические связи с доминирующим речевым лобным центром слева (у правшей), теменными и височными ассоциативными областями. Исходя из данных исследований, можно сделать вывод, что роль мозжечка в рабочей и долговременной памяти, а также речевых функциях в первую очередь объясняется активацией кортико-мозжечковой сети. Следовательно, в процессе чтения мозжечок выступает в качестве модулятора различных сетей мозга. Исследования, направленные на изучение роли мозжечка в процессе чтения, имеют важное значение для оптимизации процесса обучения чтению и вносят вклад в фундаментальное понимание обеспечения когнитивных процессов. В статье представлено систематическое описание последних данных о роли мозжечка при реализации процесса чтения и других когнитивных функций: обобщены результаты МРТ, фМРТ и ПЭТ исследований, а также клинические данные об овладении навыком чтения.

Ключевые слова: чтение, мозжечок, мозговые структуры, движения глаз

Введение

В настоящее время процесс чтения является предметом междисциплинарных когнитивных исследований с применением различных подходов. Анализ формирования навыка чтения в норме и патологии – востребованное наукой и практикой направление исследований в мировой психологии. Чтение – форма сознательной психической деятельности, которая представляет собой процесс извлечения значений из печатных материалов – включает в себя как визуально-перцептивные, так и лингвистические способности (словарный запас, орфографические навыки, умение анализировать грамматическую структуру предложения и эффективно извлекать из текста информацию). Формирование навыка чтения состоит из ряда этапов, таких как развитие функционального базиса чтения, формирование собственно навыка чтения, понимание и осмысление текста; решение когнитивных и коммуникативных задач на основе текста [Русецкая, 2009]. Уровень сформированности навыка чтения, то есть качество и скорость понимания прочитанного, определяется рядом индивидуальных характеристик читающего – в частности, его речевыми навыками и читательским опытом. Владение речью и языком являются ключевыми для поддержания социального взаимодействия и академической успешности [Tomblin et al., 2000; Petersen et al., 2013]. Чтение представляет собой пример эволюционирующей высшей психической функции [Леонтьев, 1979; Выготский, 1984; Гальперин, 1985]. В трудах Л.С. Выготского формирование функционально связанных субнавыков объяснялось в понятиях взаимовлияний низших и высших церебральных систем, первичных и вторичных дефицитов в процессе отклоняющегося формирования высших психических функций [Выготский, 1984]. В качестве примеров субнавыков можно привести навык звукового (фонематического) анализа слов, навык обозначения звуков буквами (на основе алфавитного принципа) и др. Современные когнитивные модели формирования навыка чтения и письма постулируют, что овладение навыком чтения происходит постепенно на определенных этапах развития под воздействием специальных педагогических подходов, после того как у обучающегося чтению формируются определенные когнитивные процессы, являющиеся необходимыми предпосылками и компонентами когнитивного операционального ресурса при формировании и поддержании процесса чтения [Wagner, Torgesen, 1987; Schatschneider et al., 2004; Vellutino et al., 2004].

Статистические данные по наличию дислексии (избирательного нарушения способности к овладению навыком чтения при сохраненном интеллектуальном развитии) у детей в России показывают, что в 2019 году в общеобразовательных школах доля учеников с выраженными

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения нарушениями, которые характерны для дислексии и дисграфии (по данным кафедры нейропсихологии факультета психологии МГУ) составляет более 30%, а для гимназий этот показатель равен 20% [Ершина, Алферова, 2021]. В детской нейропсихологии сформулировано допущение о том, что трудности обучения детей вызваны частичным отставанием в формировании и развитии высших психических функций. Отечественные ученые в области психологии и педагогики, такие как П.Я. Гальперин, В.В. Давыдов, Н.Ф. Талызина, Д.Б. Эльконин, уделяли внимание изучению чтения и письма (и их нарушений) как навыков, операции, действия и деятельности [Гальперин, 1977; Эльконин, Давыдов, 1962; Талызина, 1984]. Было показано, что овладение чтением и другими навыками (например, письмом) представляет собой процесс становления сложных функциональных систем (высших психических функций), формирующихся из многих компонентов, каждый из которых задействует определенные мозговые структуры и вносит особый вклад в функционирование всей системы [Анохин, 1968; Ахутина и др., 2007]. Компоненты функциональной системы чтения включают избирательную активацию; переработку зрительной, зрительно-пространственной, слухоречевой, кинестетической информации; регуляцию и контроль; серийную организацию движений. При чтении вслух программирование, регуляция и серийная организация движений проявляются в артикуляции и движениях глаз [Григоренко, 2012]. Глазодвигательные показатели отражают «техническую операцию» чтения, и от ее сформированности зависит успех этого процесса. «Причем каждый компонент плеiotропен, то есть функционально может входить в разные системы. С точки зрения состояния развития детской нейропсихологии на сегодняшний день наиболее осознанной сложной функциональной системой является устная речь» [Григоренко, 2012: 48]. По А.Н. Корневу, операциями, составляющими навык чтения, являются: 1) опознание буквы (графемы) и ее связи с фонемой; 2) слияние букв (графем) в слог; 3) слияние слогов в слово; 4) интеграция нескольких прочитанных слов в законченную фразу или высказывание [Корнев, 2015]. Итак, в отечественной науке чтение понимается как когнитивный процесс, связанный с другими высшими психическими функциями и опирающийся на работу сложно организованного мозгового субстрата.

Значительный объем зарубежных исследований показал, что индивидуальная вариабельность в овладении навыком чтения обусловлена нейрофизиологическими факторами [Lyon et al., 2003; Bailey et al., 2018]. С начала 1990-х гг. лингвисты и нейропсихологи обсуждали участие мозжечка в модуляции речи и языка [Parvizi, 2009]. Теоретические взгляды на нейронную основу чтения редко рассматривают мозжечок, в большинстве случаев нейронные модели типичного и атипичного чтения сосредоточены на коре головного мозга [Jobard et al., 2003; Психологические исследования 2023 Т 16 No. 87

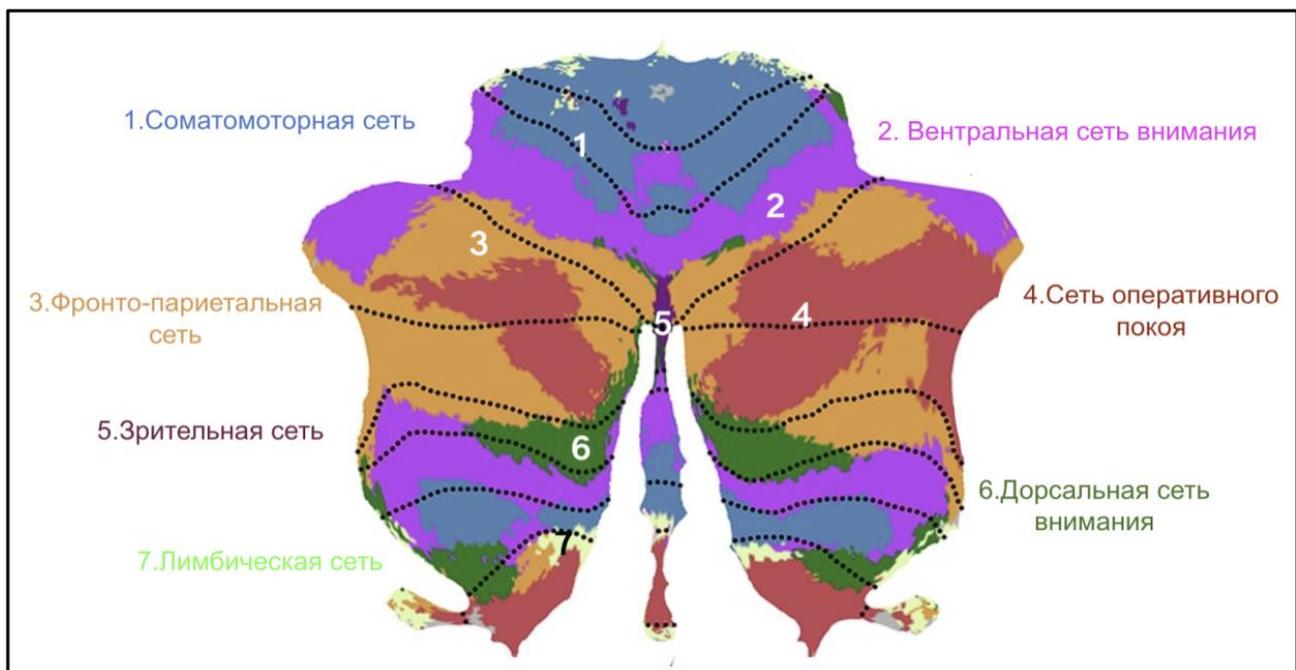
Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения [Taylor et al., 2013]. Процесс чтения должен начинаться с восприятия зрительных стимулов и обработки информации по пути сетчатки, латеральных коленчатых ядер и первичной зрительной коры [Kandel et al., 2000]. Когнитивные способности, связанные с чтением, сопровождаются высокой активацией областей коры левого полушария, включая некоторые области, которые, как известно, важны для обработки речи [Pugh et al., 2000]. Сеть чтения левого полушария включает затылочно-височную кору головного мозга, участвующую в визуальной обработке формы слова; височно-теменную кору головного мозга, участвующую в зрительно-слуховой ассоциации и фонологической обработке; и нижнюю лобную извилину для артикуляции [Stoodley, Stein, 2011]. Однако обучение чтению может также зависеть от других неявных процессов, которые позволяют приобретать и применять новые двигательные, перцептивные и когнитивные навыки. Эти процессы приводят к автоматизации механизмов, на которых основано чтение, таких как фонологическая обработка и способность автоматизировать элементарные артикуляционные и слуховые навыки, которые, возможно, частично опосредованы мозжечком [Rae et al., 2001; Nicolson et al., 2001]. Чтение осуществляется благодаря слаженной работе нейронных сетей, которые задействованы и реализуют речевые, а также визуальные и орфографические процессы, рабочую память, внимание, двигательные акты и более высокий уровень понимания и когнитивных способностей [Norton, Wolf, 2012; Peterson, Pennington, 2015]. Более того, подкорковые области, участвующие в долговременной и рабочей памяти, процедурном обучении и быстрой последовательной обработке слуховых сигналов (таламус, базальные ганглии и гиппокамп), также вовлечены в процесс чтения [Pugh et al., 2013; Ullman et al., 2020].

Овладение чтением происходит постепенно и зависит от многих двигательных и когнитивных навыков. Процесс становления данного навыка рассматривается с точки зрения развития высших психических функций. Нейронная организация способности к чтению зависит от быстрой интеграции функциональных сетей мозга, включая мозжечок. К настоящему моменту нет четко систематизированных материалов на русском языке о вкладе мозжечка в развитие навыка чтения, поэтому целью данного обзора является описание последних данных о мозговых механизмах и непосредственно роли мозжечка в процессе овладения навыком чтения и реализации данного процесса.

1.1 Вклад мозжечка в когнитивные процессы

Мозжечок составляет всего 10% от общей массы мозга, но он содержит примерно в 4 раза больше нейронов (69 миллиардов), чем кора головного мозга (около 16 миллиардов нейронов),

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения что составляет 80% всех нейронов в человеческом мозге [Azevedo et al., 2009]. Предполагают, что роль мозжечка в реализации вербальных функций и процесса мышления состоит в подготовке головного мозга к приему новой информации, ее обработке и усвоению; мозжечок играет роль своеобразного модулятора когнитивных функций [Gottwald et al., 2004]. Были представлены результаты на основе нейропсихологических оценок и МРТ (магнитно-резонансная томография) у типично развивающихся детей. Описаны статистически значимые взаимосвязи между общими когнитивными способностями (IQ) и объемом подкорковых структур мозга (мозжечка и хвостатого ядра), а также пространственной рабочей памятью и базальным ядром (скорлупой) мозга [Pangelinan et al., 2011]. Была предложена комплексная функциональная классификация коры мозжечка на базе данных фМРТ (функциональная магнитно-резонансная томография), основанных на задачах, исследующих широкий спектр сенсомоторных, когнитивных и социальных/аффективных процессов (рис. 1) [King et al., 2019].



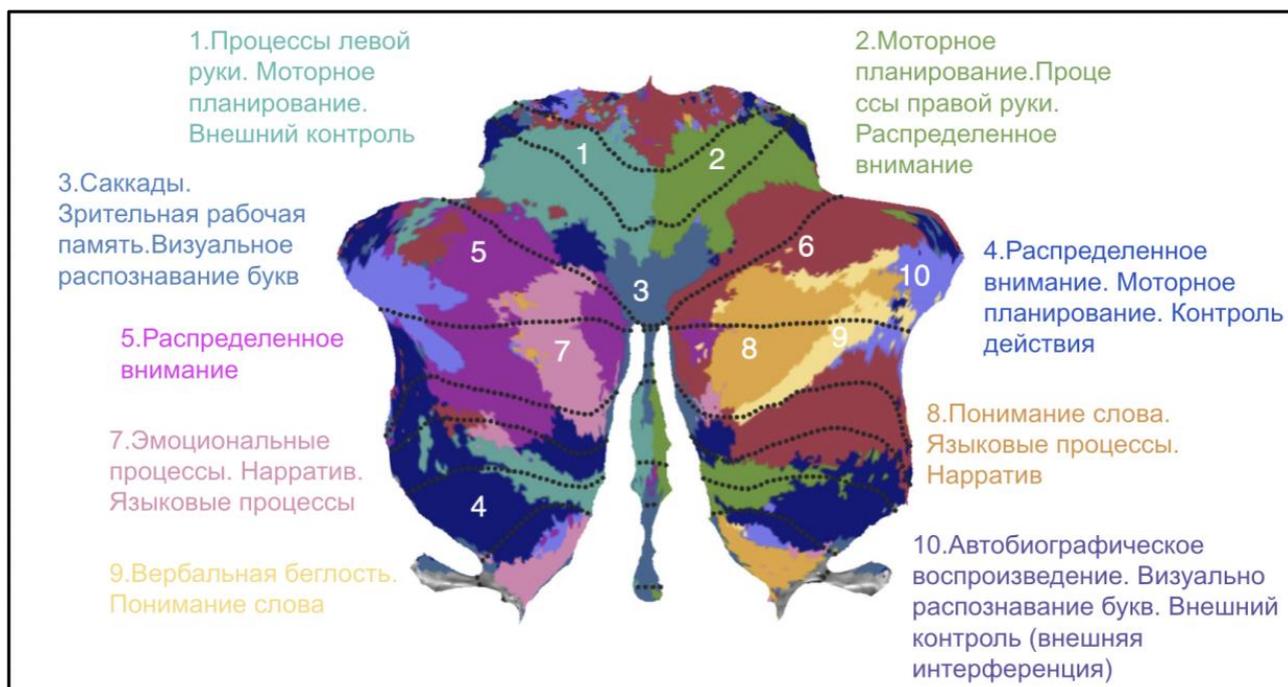


Рис. 1. Функциональное деление мозжечка.

Примечания. Мозжечковые сети оперативного покоя (сверху) (адаптировано из статьи Бакнера [Buckner et al., 2011]). Функциональное деление мозжечка на основе выполняемых задач (снизу) (адаптировано из статьи Кинга [King et al., 2019]).

Студли и Шмахманн провели мета-анализ, посвященный оценке вероятности активации областей, специфичных для языка, основываясь на 11 исследованиях, проведенных с помощью МРТ в период с 1998 по 2006 гг. [Stoodley, Schmahmann, 2009]. Было использовано несколько речевых задач, которые сравнивались с различными двигательными заданиями, что позволило выделить конкретные речевые функции, такие как фонологическая и семантическая обработка и генерация слов. Для всех речевых задач, при рассмотрении таких показателей, как вербальная беглость, генерация слов, чтение слов и не слов, сравнение генерации глаголов с их чтением и др., самые сильные пики в анализе были локализованы в дольке VI, колене I/II и средней дольке VII правого полушария мозжечка. Только небольшая латеральная активация была обнаружена в дольке VI левого полушария мозжечка. Более поздний мета-анализ, проведенный Карен-Капуч, подтвердил активацию правого полушария латеральной задней дольки мозжечка во время речевых заданий [Keren-Harpuch et al., 2014]. Таким образом, вовлечение заднелатеральной части правого полушария мозжечка в речевые функции через пересекающиеся анатомические связи с доминирующим речевым лобным центром слева, а также с теменными и височными ассоциативными областями было подтверждено посредством функциональной нейровизуализации.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения

В течении 25 лет исследований речи с помощью фМРТ собраны и описаны парадигмы фМРТ для изучения речевых функций [Amaro, Barker, 2006; Buckner, 2013]. Прайс провел обзор первых 20 лет применения фМРТ для изучения нескольких аспектов обработки речи у здорового населения, а именно говорения, понимания речи и чтения [Price, 2012]. Автор представил теоретическую модель взаимосвязи между лингвистическими функциями и их анатомическими ассоциациями, расширяющую предыдущую модель Петерсен [Petersen et al., 1989]. Помимо подтверждения роли перисильвиевых отделов в обработке речи, в обзоре были выделены другие корковые и подкорковые области, которые активируются во время обработки речи, включая верхнюю лобную извилину, моторную кору, доли VI и VII мозжечка, хвостатое ядро, бледный шар и таламус. Активация мозжечка часто наблюдается во время чтения или задач, связанных с чтением [Stoodley, Stein, 2011; Vlachos et al., 2007; Moretti et al., 2022; Cámara et al., 2019; Дубасова и др., 2012].

1.2 Мозжечок и движения глаз

Во время чтения глаза не плавно скользят по тексту, а совершают серию саккад (быстрых, строго согласованных движений глаз, происходящих одновременно и в одном направлении), которые чередуются с фиксациями. Более стабильные фиксации позволяют более успешно извлекать информацию из текста, поскольку продолжительность фиксации в основном связана с процессами интеграции и анализа визуального ввода [Frey et al., 2013; López-Pérez et al., 2016; Krieger et al., 2016]. Результаты ранних исследований говорят о взаимосвязи более развитых глазодвигательных реакций с более успешным чтением [Bezrukikh, Ivanov, 2013; Seassau, Vucchi, 2013]. Пациенты, испытывающие трудности с контролем движений глаз из-за мозжечковой атаксии (синдрома, связанного с поражением мозжечка и его связей в стволе головного мозга, из-за чего происходит нарушение согласованности движений различных мышц при условии отсутствия мышечной слабости), могут испытывать особенно заметные трудности с чтением [Rae et al., 2001; Rimrodt, 2009; Литовченко, 2012; Tomaiuolo, 2021; Mironets et al., 2022]. В других глазодвигательных тестах эти нарушения также приводят к более частым и атипичным саккадам и фиксациям во время чтения [Шурупова и др., 2016; Oh et al., 2018].

Рейнер внес фундаментальный теоретический вклад в данную область, разработав вычислительную модель последовательного переключения внимания для управления движением глаз во время чтения, известную как E-Z Reader [Rayner, 1998; Reichle et al., 1999]. Работа Рейнера [Rayner, 1998] показала, что лексическая идентификация во время чтения

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения текста – это процесс, который распределяется между фиксациями при чтении (рис. 2) [Rayner, Liversedge, 2011]. В результате проведенного исследования было показано соотношение фовеальной и парафовеальной обработки слов при чтении текста и выявление минимальных длительностей фиксаций, достаточных для идентификации слова.

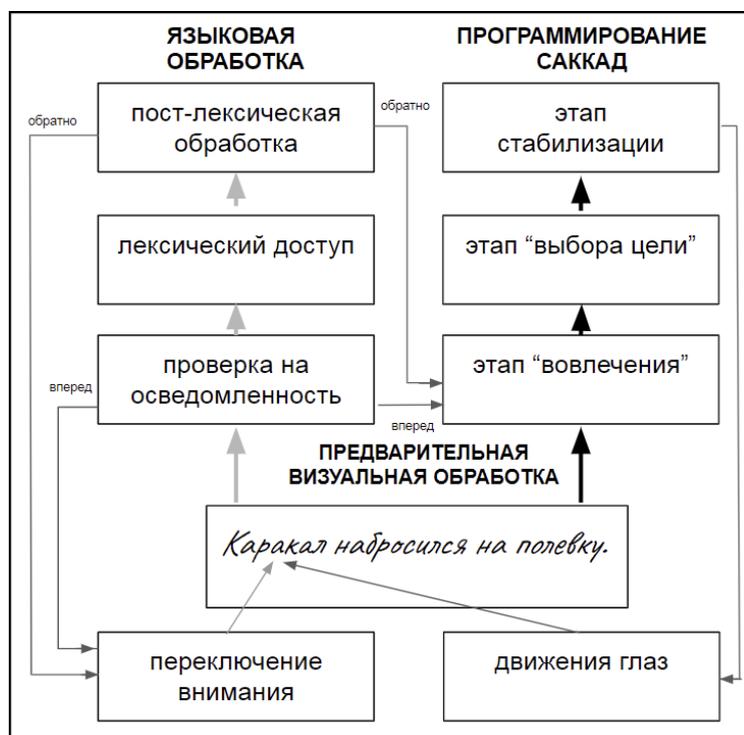


Рис. 2. Схема модели E-Z Reader для управления движением глаз во время чтения.

Примечания. Серые стрелки (левый столбец блоков) указывают, как информация распространяется между различными компонентами модели, а черные стрелки (правый столбец) указывают, как управление передается между этими компонентами (зрительной и лексической обработки, саккадического программирования, внимания). Лексическая обработка слова тесно связана с последовательным сдвигом внимания от слова к слову. Слова обрабатываются в порядке их появления в тексте. В фокусе внимания может быть только одно слово. E-Z Reader представляет собой когнитивно ориентированную модель.

Данные, полученные в результате лингвистических исследований с использованием фМРТ, свидетельствуют о том, что мозжечок участвует в модуляции функций, связанных с языком, включая восприятие речи, планирование речевой моторики, вербальную рабочую память, беглость речи, грамматическую обработку и динамику речевого производства и письма [Stoodley, 2015]. Другие мозжечковые функции, потенциально относящиеся к чтению, включают направление внимания [Schmahmann, 1997; Allen et al., 1997; Ruzetal, 2005], обнаружение ошибок [Stowe et al., 2004; Ide, Li, 2011] и синхронизацию/последовательность процесса [Molinari et al, 2008]. Наконец, роль мозжечка в имплицитном и ассоциативном

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения обучении (см., например, [Timmann et al., 2010; Quintero-Gallego, 2006]) может иметь решающее значение для приобретения навыка беглого чтения.

Топографически считается, что задние области мозжечка вовлечены в процессы познания, правое полушарие – в вербальные функции, а левое – в зрительно-пространственные процессы [Gottwald et al., 2004; Stoodley, Schmahmann, 2010]. Устная речь опосредуется областями долек V-VI и VII-VIII, которые связаны с сенсомоторными областями коры головного мозга. Замедленная речь и дизартрия (нарушение речи, характеризующееся затруднением произношения, искажением слов или отдельных звуков) связаны с повреждением долек V и VI, а также срединных долек VII и VIII. Установлено, что правое полушарие мозжечка имеет тесные связи с левым полушарием большого мозга и участвует в реализации вербальных функций и грамотности, а левое полушарие мозжечка связано с пространственным дефицитом [Riva, Giorgi, 2000; Scott, Stoodley, 2001; Schmahmann, 2006; Ortiz-Siordia, 2008]. Тюрлинг и соавторы сообщили об активации в правой латеральной области мозжечка и вентрокаудальной части правого зубчатого ядра во время выполнения задач по генерации глаголов [Thürling et al., 2012].

Итак, исследования с применением методов нейровизуализации показали, что мозжечок является важной частью сети обеспечения процесса чтения у типично развивающихся детей. Активность, связанная с чтением, как правило, сосредоточена в долях VI и VII и максимальна в правом полушарии мозжечка [Turkeltaub et al., 2003; Price et al., 2003]. Локализация паттернов активации зависит от требований конкретной задачи: например, чтение вслух задействует области мозжечка, где представлены артикуляционные мышцы (дольки V/VI с двух сторон). Было высказано предположение, что левое полушарие мозжечка участвует в обработке морфологии словоформ, тогда как правое более активно при фонологической обработке [Carreiras et al., 2007].

2. Данные о вкладе мозжечка в когнитивные процессы на основе исследований патологии

Исследования с применением методов нейровизуализации показали важную роль мозжечка в процессе запоминания, включая как рабочую память, так и эпизодическую. Рабочая память является одним из важнейших когнитивных процессов, она необходима для успешного школьного обучения ребенка. Во время решения задач на рабочую память активируется и мозжечок, взаимодействуя с лобной корой. Лобная кора соединена с мозжечком

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения двусторонними трактами, которые образуют мозжечково-таламо-кортикальный путь. Активация мозжечка была обнаружена во время выполнения заданий как на вербальную, так и на невербальную рабочую память [Hautzel et al., 2009]. Задние отделы мозжечка (доли VI, I и правая доля VIIIA), по-видимому, обычно задействованы при выполнении задач на рабочую память [Stoodley, Schmahmann, 2009]. Вклад мозжечка в различные аспекты вербальной рабочей памяти (кодирование, хранение и извлечение) был исследован с использованием классической задачи Штернберга [Chen, Desmond, 2005]. В частности, лобно-мозжечковая петля, включающая область Брока и доли VI правого полушария мозжечка, была активна во время кодирования, а теменно-мозжечковая петля, включающая левую нижнюю теменную область и правые доли мозжечка (VIIIB и VIIIA), была активна как во время кодирования, так и при переходе в хранение информации. Мета-анализ исследований нейровизуализации выявил вовлечение задней части мозжечка (правая долька I) во время восстановления автобиографической памяти [Addis et al., 2016]. Также было продемонстрировано, что дольки I и II правой части мозжечка вносят вклад в кодирование долговременной эпизодической памяти [Fliebsbach et al., 2007]. Роль мозжечка в эпизодической памяти может быть в первую очередь интерпретирована активацией кортико-мозжечковой сети, которая инициирует и контролирует сознательное извлечение эпизодической памяти [Andersson et al., 2007]. Пересечение между областями, активированными во время кодирования вербальной долговременной памяти, и задачами на рабочую память предполагает, что активированные субрегионы мозжечка обрабатывают слова через пути рабочей памяти, тем самым обеспечивая эффективное кодирование в долговременную память. Однако остается открытым вопрос о точной роли мозжечка в эпизодической памяти.

Итак, роль мозжечка в рабочей памяти, долговременной памяти и речевых функциях в первую очередь объясняется активацией кортико-мозжечковой сети.

3. Данные о вкладе мозжечка в чтение при врожденных особенностях развития

О роли мозжечка для процесса познания получены данные из исследований с участием людей, имеющих нарушения развития нервной системы, таких как дислексия развития [Gross-Tsur et al., 2006] и расстройства аутистического спектра [Laidig et al., 2017]. Мозжечок развивается в течение относительно длительного периода времени, что делает его уязвимым для нарушений развития, таких как генетические мутации [Koziol et al., 2014; Mascheretti et al., 2021]. О пороках развития мозжечка и функциональных отклонениях сообщалось при различных

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения нейрогенетических синдромах, таких как расстройство аутистического спектра, синдром дефицита внимания и гиперактивности и дислексия развития [Becker, Stoodley, 2013; Stoodley, 2015]. В дополнение к двигательной дисфункции у многих пациентов с врожденными или преждевременными пороками развития мозжечка также наблюдаются неуспешное выполнение нейропсихологических проб, интеллектуальные нарушения, серьезные речевые расстройства и изменения в поведении.

Как показали исследования с использованием фМРТ, у людей, имеющих зрительно-пространственную дислексию (генетически обусловленный нейробиологический синдром, который характеризуется трудностями при чтении, при нормальном или высоком общем интеллекте), различия наблюдались в асимметрии объема серого вещества, что являлось наиболее выраженным структурным показателем мозга, по сравнению с типично развивающимися людьми. Исследователи сообщают о значимых корреляциях нейроанатомических изменений с показателями чтения, правописанием и языком [Eckert et al., 2003; Stanberry et al., 2006; Rimrodt et al., 2009; Stoodley, Stein, 2011]. Так, в отношении проводящих путей головного мозга показано, что меньший объем левого дугообразного пучка положительно коррелирует с трудностями фонологической обработки и развитием дислексии [Horwitz et al., 1998]. Отмечаются изменения в функциональной связи между мозжечком и другими регионами в «сети чтения», в том числе левой угловой и нижней лобной извилиной [Stanberry et al., 2006]. Обнаруженная исследователями недостаточная пространственная вовлеченность (площадь) нижней лобной извилины и мозжечковых сетей у дислексиков, указывает на то, что даже если у них активируются соответствующие области во время выполнения фонематического задания, временные связи могут быть слабее. Данное обстоятельство объясняет хорошо известные проблемы с беглостью речи, связанные с дислексией развития. У взрослых людей, страдающих дислексией, были нарушены функциональные связи между левой нижней лобной извилиной и правым полушарием мозжечка. Также между лобной, затылочной областями и мозжечком. Нарушение функциональных связей правой нижней лобной извилины у дислексиков было еще более обширным и включало лобную, теменную и мозжечковую области с двух сторон. Что касается мозжечково–кортикальной сети, корреляция регионального мозгового кровотока между левой угловой извилиной и областями мозжечка значительно больше у контрольной группы здоровых людей, чем у дислексиков. Данные результаты указывают на существование мозжечково-кортикальной сети, участвующей в фонематической обработке у здоровых читателей. Авторы также предполагают функциональное нарушение между мозжечком и двусторонними областями коры у дислексиков. Полученные данные при этом не определяют

Психологические исследования 2023 Т 16 No. 87

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения мозжечок как единственную аномальную область мозга при дислексии или единственную причину дислексии. Скорее всего, значение дефицита мозжечка лучше всего понять во взаимосвязи с другими областями, с которыми он функционально связан [Jednoroog et al., 2013]. Левая нижняя лобная извилина в основном отвечала за чтение отдельных слов и псевдослов, правописание и быстрое называние. Соответственно, активность в этой области возрастала с увеличением способности к чтению и была связана с быстрым называнием [Turkeltaub et al., 2003].

Николсон и соавторы [Nicolson et al., 2001] предложили два механизма, с помощью которых мозжечок может играть определенную роль при дислексии. Первый связан с так называемой гипотезой моторно-артикуляционной обратной связи [Neilman et al., 1996], которая предполагает, что распознавание фонем зависит от осознания движений артикуляционной системы. Некачественные артикуляционные репрезентации приводят к нарушению чувствительности в отношении фонематической структуры языка и к снижению фонетической осведомленности. Второй механизм связан со снижением скорости обработки, что отражается в трудностях с быстрым присвоением названия. Снижение активации серого вещества в левой соматосенсорной и правой премоторной коре может свидетельствовать о проблемах с артикуляционной обратной связью, что приводит к серьезному фонологическому дефициту. Это, в свою очередь, может привести к большей зависимости от беззвучных артикуляционных процессов [Wimmer et al., 2010] при декодировании, тем самым приводя к увеличению активации серого вещества в мозжечке и скорлупе головного мозга. Роль последнего в чтении, главным образом в беззвучной артикуляции [Hernandez, Fiebach, 2006] и фонологии [Tettamanti et al., 2005], была показана ранее, хотя конкретно с дислексией это не было связано. Паттерны функциональной активации мозжечка во время чтения и моторного обучения отличаются у людей с дислексией и у типично развивающихся людей. Однако у многих людей с дислексией нет симптомов мозжечковых нарушений, и авторы приходят к выводу о том, что нарушение функций мозжечка, вероятно, не является основной причиной дислексии. Напротив, более фундаментальная аномалия нервно-психического развития приводит к различиям во всей сети чтения.

Мозжечок является одним из наиболее устойчивых мест расположения структурных различий между участниками с дислексией и группой типично развивающихся участников в исследованиях с использованием метода нейровизуализации. Студли и Стейн также рассматривали области мозжечка, участвующие в развитии дислексии, в связи с речевыми парадигмами и парадигмами рабочей памяти, хотя результаты, полученные с помощью фМРТ, Психологические исследования 2023 Т 16 No. 87

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения различаются у детей и взрослых [Stoodley, Stein, 2011]. Перне и соавторы обнаружили на выборке из 38 взрослых, страдающих дислексией, структурные аномалии в дольке VI правого полушария мозжечка, однако различия в активации областей мозжечка не наблюдались у детей, не умеющих читать, но имеющих риск развития дислексии [Perner et al., 2009; Bishop, 2002; Raschle et al., 2011]. Они предполагают, что различия в активации областей мозжечка могут быть следствием трудностей с чтением, а не их первопричиной.

Итак, вероятно, что некоторые структуры мозжечка (правое полушарие мозжечка и части червя мозжечка) контролируют обработку речи. Происходит интеграция активации мозжечка с так называемой «системой лобных долей», и при нарушении, вследствие патологических поражений, страдают некоторые лингвистические операции, такие как чтение [Fabbro et al., 2000]. Таким образом, приобретенная дислексия также может рассматриваться как следствие селективного повреждения области червя мозжечка (парасагиттальной части полушарий мозжечка). Соответственно, мозжечок участвует в процессе чтения в качестве модулятора различных сетей мозга.

4. Данные о вкладе мозжечка в чтение при приобретенных нарушениях

Обзор литературы продемонстрировал наличие значительного числа данных о речевых трудностях, с которыми сталкиваются пациенты, перенесшие лечение новообразований мозжечка, локальных инсультов, черепно-мозговых травм (при участии мозжечка). Первое упоминание о роли мозжечка в речевых нарушениях у детей было представлено Дейли и Лав в 1958 году в их отчете о синдроме задней черепной ямки [Daly, Love, 1958]. Синдром задней черепной ямки (церебеллярный мутизм) – это состояние, которое иногда развивается после хирургической операции по удалению опухоли головного мозга в области, которая называется задней черепной ямкой. Задняя черепная ямка – это область вблизи основания черепа, в которой находятся мозжечок и ствол мозга. У детей с синдромом задней черепной ямки обычно наблюдается целый ряд симптомов. Наиболее выраженный из них – это ограничение или полная потеря речи. Хотя у таких детей отсутствует экспрессивная речь, они сохраняют способность к обработке и пониманию информации. Среди прочих симптомов синдрома выделяют изменения характера речи, движений, поведения, а также изменения эмоций. В 1986 году Лейнер и его коллеги представили первые доказательства того, что отделы мозжечка функционально связаны с соответствующими областями головного мозга (например, лобной корой) [Leiner et al., 1986]. Отдельные участки мозжечка соединены с различными областями головного мозга, образуя сложную топографию. Революция в методах нейровизуализации,

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения произошедшая с середины 1980-х гг., позволила исследователям продолжить изучение роли мозжечка в познании, кульминацией которого стало исследование с помощью позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), продемонстрировавшее активность областей мозжечка при обработке одного слова [Petersen et al., 1989]. Ссылаясь на статью Лейнер [Leiner et al., 1986], авторы предположили, что эта активация скорее играла «когнитивную» роль, чем моторную или сенсорную [Petersen et al., 1989]. Начиная с этого исследования, большое количество экспериментальных и клинических исследований нейровизуализации подтвердили последовательное вовлечение правой задней доли мозжечка в задачах на генерацию слов, произносимых про себя [Papathanassiou et al., 2000]. В 1998 году Шмахманн и Шерман предложили термин «мозжечковый когнитивно-аффективный синдром» (cerebellar cognitive affective syndrome – CCAS) после изучения 20 пациентов с поражениями, ограниченными мозжечком [Schmahmann, Sherman, 1998]. Проявления данного синдрома включают в себя: нарушения когнитивных функций (например, снижение внимания и памяти, которые необходимы для процесса чтения); нарушение зрительно-пространственного восприятия (приводит к возникновению дисграфии и дискалькулии, трудностям, связанным с чтением и пр.); нарушения личности (возникновение психоэмоциональных расстройств, например, тревожных или депрессивных); речевые трудности (мутизм, дизартрия и др.). Это исследование выявило наличие взаимосвязи между поражениями мозжечка и изменениями в поведении и когнитивных навыках, что в дальнейшем повлияло на рассмотрение роли мозжечка в процессе чтения. Синдром возникает вследствие нарушения нейронных связей, которые соединяют префронтальную, заднюю теменную, височную и лимбическую кору, после опухолей мозжечка, инсультов, гипоплазий и аплазий, а также поверхностного сидероза центральной нервной системы (ЦНС).

Рива и Джорджи, изучив истории 26 детей, перенесших хирургическое лечение опухолей полушария мозжечка или червя мозжечка, отметили, что у детей с опухолью правого полушария мозжечка наблюдалось снижение вербальных способностей (которое, однако, было незначительным) наряду с заметными нарушениями в сложных аспектах речи, таких как средняя длина высказывания [Riva, Giorgi, 2000]. У детей с опухолями в левом полушарии мозжечка также наблюдалось снижение невербальных способностей вместе с более заметным снижением управляющих функций. При этом у них наблюдалось и заметное ухудшение лексического доступа как в плане понимания, так и в плане экспрессивных навыков речи.

Николсон и коллеги предложили модель дефицитарности мозжечка, в которой мозжечок играет важную роль в чтении [Nicolson et al., 2001]. В рамках данной модели Трэвис и коллеги

Психологические исследования 2023 Т 16 No. 87

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения провели мета-анализ и описали фонологическую сеть связи между мозжечком и дорсальным лобно-теменным путем, а также семантическую сеть со связью мозжечка с вентральным лобно-височным путем [Travis et al, 2018]. Кроме того, оба мозговых пути имеют функциональные связи со средней веретенообразной извилиной – областью, участвующей в орфографической обработке. Рассмотрение этих сетей в контексте современной литературы предполагает, что мозжечок расположен так, чтобы влиять как на фонологические, так и на семантические процессы декодирования для распознавания незнакомых написанных слов.

Мариен и коллеги собрали и описали различные теоретические концепции функций мозжечка. В частности, авторы сосредоточились на том, чтобы связать потенциальные аспекты функций мозжечка с процессами, которые могут способствовать развитию чтения (рис. 3). Они пришли к выводу, что «понимание когнитивной нейробиологии развития – особенно роли мозжечка и мозжечковых сетей при чтении – имеет решающее значение для понимания развития чтения и его ускорения» [Mariën et al., 2014, p. 399]. Согласно предложенной модели (рис. 4), входные данные из центра Брока (44 поле по Бродману) проходят через левую переднюю островковую кору и проецируются на левую первичную моторную кору через (левую) вентральную премоторную кору посредством подкоркового пути, частью которого является мозжечок. Эта модель предполагает, что вовлечение мозжечка в речевую функцию расположено иерархически ниже, чем центры моторного планирования лобной коры левого полушария головного мозга. Позднее Мариен и коллеги проводят мета-анализ по различным речевым функциям с оценкой вклада роли мозжечка [Mariën et al., 2018], где дополняют и обобщают изученные модели.

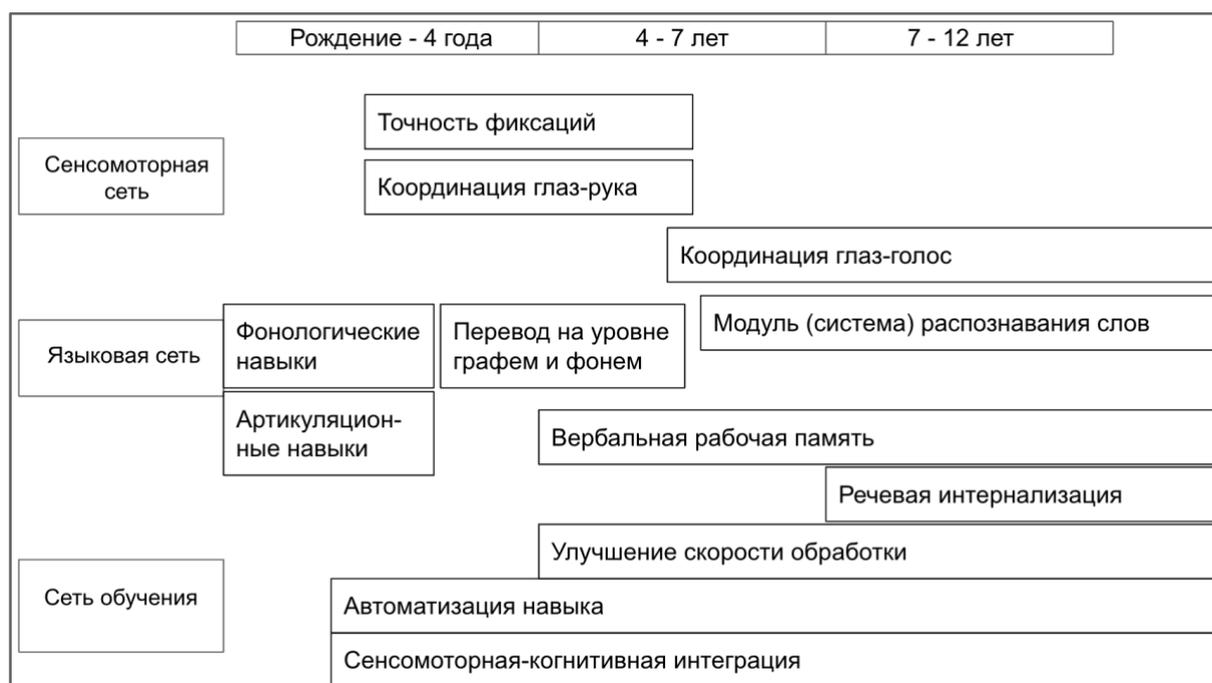


Рис. 3. Мозжечковые компоненты, способствующие развитию навыка чтения.

Примечания. Изображение перепечатано из статьи Мариен «Consensus Paper: Language and the Cerebellum: an Ongoing Enigma» [Mariën et al., 2014].



Рис. 4. Модель, описывающая вовлечение мозжечка в речь, предложенная Мариен и коллегами в статье «Consensus Paper: Language and the Cerebellum: an Ongoing Enigma» [Mariën et al., 2014].

Таким образом, различные структуры мозжечка участвуют в глазодвигательном контроле, в моторном контроле речевого аппарата для производства речи, а также в семантической, фонематической и синтаксической обработке речи более высокого порядка [Marien et al., 2014].

Заключение

В работе обобщены исследования о роли мозжечка в реализации речевых процессов и процесса чтения, выполненные как на типично развивающихся участниках, так и на детях с дислексией развития и пациентах с локальными повреждениями мозжечка. Представленные результаты способствуют лучшему пониманию мозговой организации, участвующей в формировании процесса чтения. Кроме того, они имеют важное значение для понимания таких нарушений, как дислексия, и других нарушений развития. Все обобщенные данные, полученные с помощью методов нейровизуализации во время чтения или задач на отдельные функции, его опосредующие, согласуются друг с другом. Стало известно о вовлечении заднелатеральной области правого полушария мозжечка в речевые функции через пересекающиеся анатомические тракты с доминирующим речевым лобным центром слева, теменными и височными ассоциативными областями. Исходя из приведенных исследований,

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения можно сделать вывод, что роль мозжечка в рабочей памяти, долговременной памяти, внимании, процессах торможения и речевых функциях в первую очередь объясняется активацией кортико-мозжечковой сети. Поскольку чтение требует скоординированной интеграции зрительной, слуховой, моторной и речевой систем, оно опосредуется сетью связывающих областей мозга, которые тесно связаны с мозжечком. Соответственно, мозжечок участвует в процессе чтения в качестве модулятора различных сетей мозга.

Исследования, направленные на изучение роли мозжечка, имеют значение для оптимизации процесса обучения чтению и вносят вклад в фундаментальное понимание обеспечения когнитивных процессов. Также изучение мозговых механизмов чтения, а именно роли мозжечка, в их связи с клиническими и когнитивными особенностями необходимо для более глубокого понимания нейрофизиологических механизмов дислексии и других расстройств обучения. Важны дальнейшие исследования для проверки механистических гипотез. В попытках найти методы для диагностики нарушений чтения необходимо учитывать нейробиологическую основу самого процесса.

Литература

Анохин П.К. Функциональная система, как методологический принцип биологического и физиологического исследования. // В кн.: Системная организация физиологических функций. М.: Медицина, 1968. С. 25-28.

Ахутина Т.В., Засыпкина К.В., Романова А.А. Анализ смысловой стороны речи детей 5-7 лет. Школа здоровья, 2007, 2, 31–36.

Выготский Л.С. Собрание сочинений, М.: Педагогика, 1984. Т. 6.

Гальперин П.Я. Языковое сознание и некоторые вопросы взаимоотношений языка и мышления. Вопросы философии, 1977, 4, 95–101.

Гальперин П.Я. Методы обучения и умственное развитие ребенка. М.: МГУ, 1985.

Григоренко Е.Л. Влияние индивидуальных особенностей когнитивного развития на овладение навыками чтения и письма младшими школьниками: дис. д-ра психол. наук. МГУ, М., 2012.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Дубасова А.В., Раева О.В., Риехакайнен Е.И., Фролова А.М. Роль частотности в процессе распознавания лексически неоднозначных фрагментов речевого сигнала (на материале русского языка). Вестник Санкт-Петербургского университета. Язык и литература, 2012, 2, 132–140.

Ершина А.А., Алферова И.С. Клинико-психологический подход к коррекции дислексии. В кн.: Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения: материалы VI Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов, посвященной году науки и технологий. Екатеринбург, 8–9 апреля 2021. Екатеринбург: УГМУ, 2021, 2, 476–482.

Корнев А.Н. Когнитивные и фонетические характеристики чтения на начальном этапе его усвоения. В кн.: Проблемы онтолингвистики: механизмы усвоения языка и становление речевой компетенции: материалы международной конференции. СПб: ИЛИ РАН, 2015, 188–193.

Леонтьев А.Н. Категория деятельности в современной психологии. Вопросы психологии, 1979, 3, 22.

Литовченко А.И. Нарушения речи при опухолях мозжечка. Украинский нейрохирургический журнал, 2012, 2, 4–7.

Русецкая М.Н. Стратегия преодоления дислексии учащихся с нарушениями речи в системе общего образования. М.: Институт коррекционной педагогики, 2009.

Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. М.: Московский университет, 1984.

Шурупова М.А., Анисимов В.Н., Латанов А.В., Касаткин В.Н. Особенности нарушений движений глаз при поражениях мозжечка различной локализации. Российский медико-биологический вестник им. академика И.П. Павлова, 2016, 3(24), 154–163.

Эльконин Д.Б. Экспериментальный анализ начального этапа обучения чтению. Вопросы психологии учебной деятельности младших школьников. М.: АПН РСФСР, 1962.

Addis D.R., Moloney E.E., Tippett L.J., Roberts R., Hach S. Characterizing cerebellar activity during autobiographical memory retrieval: ALE and functional connectivity investigations. *Neuropsychologia*, 2016, 90, 80–93. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.025

Alexander M.P., Gillingham S., Schweizer T., Stuss D.T. Cognitive impairments due to focal cerebellar injuries in adults. *Cortex*, 2012, 48(8), 980–990. doi:10.1016/j.cortex.2011.03.012

Allen G., Buxton R., Wong E., Courchesne E. Attentional activation of the cerebellum independent of motor involvement. *Science*, 1997, 275, 1940–1943.

Amaro E., Barker G.J. Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, 2006, 60, 220–232.

Andersson J.L., Jenkinson M., Smith S. Non-Linear Optimisation. FMRIB Technical Report TR07JA1 (Online). Oxford, UK: The Oxford Centre for Functional MRI of the Brain, 2007.

Azevedo F.A., Carvalho L.R., Grinberg L.T., Farfel J.M., Ferretti R.E., Leite R.E., Jacob Filho W., Lent R., Herculano-Houzel S. Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology*, 2009, 513 (5), 532–541. doi:10.1002/cne.21974

Bailey S., Aboud K., Nguyen T., Cutting L. Applying a network framework to the neurobiology of reading and dyslexia. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 2018, 10 (37), 2–9. doi:10.1186/s11689-018-9251-z

Becker E.B., Stoodley C.J. Autism spectrum disorder and the cerebellum. *International Review of Neurobiology*, 2013, 113, 1–34. doi:10.1016/B978-0-12-418700-9.00001-0

Bezrukikh M.M., Ivanov V.V. Eye Movements in the Process of Reading as an Indicator of Development of Reading Skill. *Human Physiology*, 2013, 39, 68–77.

Bishop D.V.M. Cerebellar abnormalities in developmental dyslexia: Cause, correlate or consequence? *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 2002, 38(4), 491–498. doi:10.1016/S0010-9452(08)70018-2

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения

Brossard-Racine M., Limperopoulos C. Normal Cerebellar Development by Qualitative and Quantitative MR Imaging: From the Fetus to the Adolescent. *Neuroimaging Clinics of North America*, 2016, 26(3), 331–339. doi:10.1016/j.nic.2016.03.004

Buckner R.L. The cerebellum and cognitive function: 25 years of insight from anatomy and neuroimaging. *Neuron*, 2013, 80 (3), 807–815. doi:10.1016/j.neuron.2013.10.044

Buckner R.L., Krienen F.M., Castellanos A., Diaz J.C., Yeo B.T. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 2011, 106 (5), 2322–2345. doi:10.1152/jn.00339.2011

Cámara S., Fournier M.C., Cordero P., Melero J., Robles F., Estes B., Vara M.T., Rodríguez S., Lassaletta Á., Budke M. Neuropsychological Profile in Children with Posterior Fossa Tumors with or Without Postoperative Cerebellar Mutism Syndrome (CMS). *Cerebellum*, 2019, 19, 78–88.

Carreiras M., Mechelli A., Estevez A., Price C.J. Brain activation for lexical decision and reading aloud: two sides of the same coin? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2007, 19(3), 433–444.

Chen S.H.A., Desmond J.E. Temporal dynamics of cerebro-cerebellar network recruitment during a cognitive task. *Neuropsychologia*, 2005, 43(9), 1227–1237. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.12.015

Daly D.D., Love J.G. Akinetic mutism. *Neurology*, 1958, 8(3), 238–242. doi:10.1212/WNL.8.3.238

Eckert M.A., Leonard C.M., Richards T.L., Aylward E.H., Thomson J., Berninger V.W. Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain*, 2003, 126(2), 482–494. doi:10.1093/brain/awg026

Fabbro F., Moretti R., Bava A. Language impairments in patients with cerebellar lesions. *Journal of Neurolinguistics*, 2000, 13, 173–188.

Fliessbach K., Trautner P., Quesada C.M., Elger C.E., Weber B. Cerebellar contributions to episodic memory encoding as revealed by fMRI. *Neuroimage*, 2007, 35(3), 1330–1337. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.02.004

Frey A., Ionescu G., Lemaire B., López-Orozco F., Baccino T., Guérin-Dugué A. Decision-Making in Information Seeking on Texts: An Eye-Fixation-Related Potentials Investigation. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2013, 7, 39.

Gottwald B., Wilde B., Mihajlovic Z., Mehdorn H.M. Evidence for distinct cognitive deficits after focal cerebellar lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 2004, 11(75), 1524–1531.

Gross-Tsur V., Ben-Bashat D., Shalev R.S., Levav M., Sira, L.B. Evidence of a developmental cerebello-cerebral disorder. *Neuropsychologia*, 2006, 44(12), 2569–2572. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.028

Hautzel H., Mottaghy F.M., Specht K., Müller H-W., Krause B.J. Evidence of a modality-dependent role of the cerebellum in working memory? An fMRI study comparing verbal and abstract n-back tasks. *NeuroImage*, 47(4), 2009, 2073–2082. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.06.005

Hernandez A.E., Fiebach C.J. The brain bases of reading late learned words: evidence from functional MRI. *Visual Cognition*, 2006, 13, 1027–1043. doi:10.1080/13506280544000183

Horwitz B., Rumsey J.M., Donohue B.C. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95(15), 8939–8944. doi:10.1073/pnas.95.15.8939

Ide J.S., Li C.S. A cerebellar thalamic cortical circuit for error related cognitive control. *Neuroimage*, 2011, 54(1), 455–464.

Jednoróg K., Gawron N., Marchewka A., Heim S., Grabowska A. Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume. *Brain Structure and Function*, 2013, 219(5), 1697–1707. doi:10.1007/s00429-013-0595-6

Jobard G., Crivello F., Tzourio-Mazoyer N. Evaluation of the dual route theory of reading: a metaanalysis of 35 neuroimaging studies. *NeuroImage*, 2003, 20, 693–712.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения

Jung K.I., Park M.H., Park B., Kim S.Y., Kim Y.O., Kim B.N., Park S., Song C.H. Cerebellar Gray Matter Volume, Executive Function, and Insomnia: Gender Differences in Adolescents. *Scientific Reports*, 2019, 9(1), 855. doi:10.1038/s41598-018-37154-w

Kandel E., Schwartz J., Jessell T. *Principles of Neural Science*. New York: McGraw-Hill, 2000.

Keren-Happuch E., Chen S.H.A., Ho M.H.R., Desmond J.E. A meta-analysis of cerebellar contributions to higher cognition from PET and fMRI studies. *Human Brain Mapping*, 2014, 35(2), 593–615. doi:10.1002/hbm.22194

King M., Hernandez-Castillo C.R., Poldrack R.A., Ivry R.B., Diedrichsen, J. Functional boundaries in the human cerebellum revealed by a multi-domain task battery. *Nature Neuroscience*, 2019, 22(8), 1371–1378. doi:10.1038/s41593-019-0436-x

Koustenis E., Hernaiz Driever P., de Sonnevile L., Rueckriegel S.M. Executive function deficits in pediatric cerebellar tumor survivors. *European Journal of Paediatric Neurology*, 2016, 20(1), 25–37. doi:10.1016/j.ejpn.2015.11.001

Koziol L.F., Budding D., Andreasen N., D'Arrigo S., Bulgheroni S., Imamizu H., Ito M., Manto M., Marvel C., Parker K., Pezzulo G., Ramnani N., Riva D., Schmahmann J., Vandervert L., Yamazaki T. Consensus paper: the cerebellum's role in movement and cognition. *Cerebellum*, 2014, 13 (1), 151–177. doi:10.1007/s12311-013-0511-x

Kriber M., Bartl-Pokorny K.D., Pokorny F.B., Einspieler C., Langmann A., Körner C., Falck-Ytter T., Marschik P.B. The Relation between Reading Skills and Eye Movement Patterns in Adolescent Readers: Evidence from a Regular Orthography. *PLOS ONE*, 2016, 11(1), e0145934. doi:10.1371/journal.pone.0145934

Laidi C., Boisgontier J., Chakravarty M.M., Hotier S., d'Albis M.A., Mangin J.O., Devenyi G.A., Delorme R., Bolognani F., Czech C., Bouquet C., Toledano E., Bouvard M., Gras D., Petit J., Mishchenko M., Gaman A., Scheid I., Leboyer M., Zalla T., Houenou J. Cerebellar anatomical alterations and attention to eyes in autism. *Scientific Reports*, 2017, 7(1), 12008. doi:10.1038/s41598-017-11883-w

Leiner H.C., Leiner A.L., Dow R.S. Does the cerebellum contribute to mental skills? *Behavioral Neuroscience*, 1986, 100(4), 443–454.

López-Pérez P.J., Dampuré J., Hernández-Cabrera J.A., Barber H. Semantic Parafoveal-on-Foveal Effects and Preview Benefits in Reading: Evidence from Fixation Related Potentials. *Brain and Language*, 2016, 162, 29–34.

Lyon G., Shaywitz S., Shaywitz B. A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 2003, 53, 1–14.

Mariën P., Ackermann H., Adamaszek M., Barwood C.H.S, Beaton A., Desmond J., De Witte E., Fawcett A.J., Hertrich I., Kuper M., Leggio M., Marvel C., Molinari M., Murdoch B.E., Nicolson R.I., Schmahmann J.D., Stoodley C.J., Thurling M., Timmann D., Ziegler W. Consensus paper: language and the cerebellum: an ongoing enigma. *Cerebellum*, 2014, 13(3), 386–410. doi:10.1007/s12311-013-0540-5

Mariën P., Borgatti R. Language and the cerebellum. In.: M. Manto, T.A.G.M. Huisman (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, 2018. pp. 154, 181–202. doi:10.1016/B978-0-444-63956-1.00011-4

Mascheretti S., Perdue M.V., Feng B., Andreola C., Dionne G., Jasińska K.K., Pugh K.R., Grigorenko E.L., Landi N. From BDNF to reading: Neural activation and phonological processing as multiple mediators. *Behavioural Brain Research*, 2021, 396, 112859. doi:10.1016/j.bbr.2020.112859

Mironets S., Shurupova M., Drenea A. Reading in Children Who Survived Cerebellar Tumors: Evidence from Eye Movements. *Vision*, 2022, 6(1), 10. doi:10.3390/vision6010010

Molinari M., Chiricozzi F.R., Clausi S., Tedesco A.M., De Lisa M., Leggio M.G. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition. *Cerebellum*, 2008, 7(4), 611–615.

Moretti R., Torre P., Antonello R., Carraro M., Zambito-Marsala S., Ukmar M. Peculiar aspects of reading and writing performances in patients with olivopontocerebellar atrophy. *Perceptual and Motor Skills*, 2002, 94, 677–694.

Nicolson R.I., Fawcett A.J., Dean P. Developmental Dyslexia: The Cerebellar Deficit Hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 2001, 24, 508–511. doi:10.1016/S0166-2236(00)01896-8

Norton E., Wolf M. Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, 2012, 63, 427–452.

Oh A.J., Chen T., Shariati M.A., Jehangir N., Hwang T.N., Liao Y.J. A simple saccadic reading test to assess ocular motor function in cerebellar ataxia. *PLOS ONE*, 2018, 13(11), e0203924. doi:10.1371/journal.pone.0203924

O'Reilly J.X., Beckmann C.F., Tomassini V., Ramnani N., Johansen-Berg H. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity. *Cerebral Cortex*, 2010, 20(4), 953–965. doi:10.1093/cercor/bhp157

Ortiz-Siordia L.E., Alvarez-Amador L., Gonzalez-Pina R. Anatomic and topographic models of the cerebellar areas that activate during the linguistic function. *Revue Neurologique*, 2008, 12, 16–31.

Pangelinan M.M., Zhang G., VanMeter J.W., Clark J.E., Hatfield B.D., Haufler A.J. Beyond age and gender: relationships between cortical and subcortical brain volume and cognitive-motor abilities in school-age children. *Neuroimage*, 2011, 54(4), 3093–3100. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.021

Papathanassiou D., Etard O., Mellet E., Zago L., Mazoyer B., Tzourio-Mazoyer N. A Common Language Network for Comprehension and Production: A Contribution to the Definition of Language Epicenters with PET. *NeuroImage*, 11(4), 2000, 11(4), 347–357. doi:10.1006/nimg.2000.0546

Parvizi J. Corticocentric myopia: old bias in new cognitive sciences. *Trends in Cognitive Sciences*, 2009, 13(8), 354–359. doi:10.1016/j.tics.2009.04.008

Pernet C., Andersson J., Paulesu E., Demonet J.F. When all hypotheses are right: A multifocal account of dyslexia. *Human Brain Mapping*, 2009, 30, 2278–2292. doi:10.1002/hbm.20670

Petersen I.T., Bates J.E., D'Onofrio B.M., Coyne C.A., Lansford J.E., Dodge K.A., Pettit G.S., Van Hulle C.A. Language ability predicts the development of behavior problems in children. *Journal of Abnormal Psychology*, 2013, 122(2), 542–57. doi:10.1037/a0031963

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M., Raichle M.E. Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1989, 1(2), 153–170.

Peterson R., Pennington B. Developmental dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 2015, 11, 283–307.

Price C.J. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 2012, 62(2), 816–847.

Pugh K., Landi N., Preston J., Mencl W.E., Austin A.C., Sibley D., Fulbright R.K., Seidenberg M.S., Grigorenko E.L., Constable R.T., Molfese P., Frost S.J. The relationship between phonological and auditory processing and brain organization in beginning readers. *Brain and Language*, 2013, 125(2), 173–183.

Pugh K.R., Mencl W., Jenner A., Katz L., Frost S., Lee J., Shaywitz S., Shaywitz B. Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 2000, 6, 207–213. doi:10.1002/1098-2779(2000)6:3<207::AID-MRDD8>3.0.CO;2-P

Quintero-Gallego E.A., Gomez C.M., Casares E.V., Marquez J., Perez-Santamaria F.J. Declarative and procedural learning in children and adolescents with posterior fossa tumours. *Behavioral and Brain Functions*, 2006, 2, 9.

Rae C., Harasty J.A., Dzendrowskyj T.E., Talcott J.B., Simpson J.M., Blamire A.M., Dixon R.M., Lee M.A., Thompson C.H., Styles P., Richardson A.J., Stein J.F. Cerebellar Morphology in Developmental Dyslexia. *Neuropsychologia*, 2001, 40, 1285–1292.

Ramnani N., Behrens T.E., Johansen-Berg H., Richter M.C., Pinsk M.A., Andersson J.L., Rudebeck P., Ciccarelli O., Richter W., Thompson A.J., Gross C.G., Robson M.D., Kastner S., Matthews P.M. The evolution of prefrontal inputs to the cortico- pontine system: diffusion imaging evidence from Macaque monkeys and humans. *Cerebral Cortex*, 2006, 16(6), 811-818. doi:10.1093/cercor/bhj024

Raschle N.M., Chang M., Gaab N. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 2011, 57, 742–749.

Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 1998, 124, 372–422.

Rayner K., Liversedge S.P. Linguistic and cognitive influences on eye movements during reading. In: S.P. Liversedge, I.D. Gilchrist, S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford University Press, 2011. pp. 751–766.

Reichle E.D., Rayner K., Pollatsek A. Eye movement control in reading: accounting for initial fixation locations and refixations within the E-Z Reader model. *Vision Research*, 1999, 39(26), 4403–4411. doi:10.1016/s0042-6989(99)00152-2

Rimrod S.L., Clements-Stephens A.M., Pugh K.R., Courtney S.M., Gaur P., Pekar J.J., Cutting L.E. Functional MRI of sentence comprehension in children with dyslexia: beyond word recognition. *Cerebral Cortex*, 2009, 19(2), 402–413.

Riva D., Giorgi C. The cerebellum contributes to higher functions during development: evidence from a series of children surgically treated for posterior fossa tumors. *Brain*, 2000, 123, 1051–1061.

Robinson G.A., Cipolotti L., Walker D.G., Biggs V., Bozzali M., Shallice T. Verbal suppression and strategy use: a role for the right lateral prefrontal cortex? *Brain*, 2015, 138(4), 1084–1096. doi:10.1093/brain/awv003

Ruz M., Wolmetz M.E., Tudela P., McCandliss B.D. Two brain pathways for attended and ignored words. *Neuroimage*, 2005, 27(4), 852–861.

Schatschneider C., Fletcher J.M., Francis D.J., Carlson C.D., Foorman B.R. Kindergarten prediction of reading skills: A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology*, 2004, 96, 265–282.

Schmahmann J.D. *The cerebellum and cognition*. International Review of Neurobiology. San Diego: 1st Edition Academic Press, 1997.

Schmahmann J.D., Caplan D. Cognition, emotion and the cerebellum. *Brain*, 2006, 129(2), 290–292. doi:10.1093/brain/awh730

Schmahmann J.D., Sherman J.C. The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain: a journal of neurology*, 1998, 121(4), 561–579.

Scott R.B., Stoodley C.J., Anslow P., Paul C., Stein J.F., Sugden E.M., Mitchell C.D. Lateralized Cognitive Deficits in Children Following Cerebellar Lesions. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2001, 43, 685–691.

Seassau, M., Bucci M.-P. Reading and Visual Search: A Developmental Study in Normal Children. *PLoS ONE*, 2013, 8, e70261.

Stanberry L.I., Richards T.L., Berninger V.W., Nandy R.R., Aylward E.H., Maravilla K.R., Stock P.S., Cordes D. Low-frequency signal changes reflect differences in functional connectivity between good readers and dyslexics during continuous phoneme mapping. *Magnetic Resonance Imaging*, 2006, 24(3), 217–229. doi:10.1016/j.mri.2005.12.006

Stoodley C.J. The Cerebellum and Neurodevelopmental Disorders. *Cerebellum*, 2015, 15, 34–37.

Stoodley C.J., Schmahmann J.D. The cerebellum and language: evidence from patients with cerebellar degeneration. *Brain and Language*, 2009, 110(3), 149–153. doi:10.1016/j.bandl.2009.07.006

Stoodley C.J., Schmahmann J.D. Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *Cortex*, 2010, 46(7), 831–844.

Stoodley C.J., Stein J.F. The cerebellum and dyslexia. *Cortex*, 2011, 47(1), 101–116. doi:10.1016/j.cortex.2009.10.005

Stowe L.A., Paans A.M., Wijers A.A., Zwarts F. Activations of «motor» and other non-language structures during sentence comprehension. *Brain and Language*, 2004, 89(2), 290–299.

Taylor J.S., Rastle K., Davis M.H. Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 2013, 139(4), 766–791. doi:10.1037/a0030266

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Tettamanti M., Moro A., Messa C., Moresco R.M., Rizzo G., Carpinelli A., Matarrese M., Fazio F.,
Perani D. Basal ganglia and language: phonology modulates dopaminergic release. *NeuroReport*,
2005, 16, 397–401. doi:10.1097/00001756-200503150-00018

Timmann D., Drepper J., Frings M., Maschke M., Richter S., Gerwig M., Kolb F.P. The human cerebellum contributes to motor, emotional and cognitive associative learning. A review. *Cortex*, 2010, 46(7), 845–857.

Tomaiuolo F., Campana S., Voci L., Lasaponara S., Doricchi F., Petrides M. The Precentral Insular Cortical Network for Speech Articulation. *Cerebral Cortex*, 2021, 31(8), 3723–3731.

Tomblin J.B., Zhang X., Buckwalter P.X., Catts H. The association of reading disability, behavioral disorders, and language impairment among second-grade children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2000, 41(4), 473–482.

Travis T., Alvareza A., Fieza J.A. Current perspectives on the cerebellum and reading development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2018, 92, 55–66. doi:10.1016/j.neubiorev.2018.05.006

Thürling M., Hautzel H., Küper M., Stefanescu M.R., Maderwald S., Ladd M.E., Timmann D. Involvement of the cerebellar cortex and nuclei in verbal and visuospatial working memory: a 7 T fMRI study. *Neuroimage*, 2012, 62(3), 1537–1550. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.037

Turkeltaub P.E., Gareau L., Flowers D.L., Zeffiro T., Eden G. Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 2003, 6, 767–773.

Ullman M., Earle F., Walenski M., Janacek K. The neurocognition of developmental disorders of language. *Annual Review of Psychology*, 2020, 71, 389–417.

Vellutino F.R., Fletcher J.M., Snowling M.J., Scanlon D.M. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2004, 45(1), 2–40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x

Vlachos F., Papathanasiou I., Andreou G. Cerebellum and reading. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 2007, 59(4), 177–183. doi:10.1159/000102929

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Wagner R.K., Torgesen J.K. The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 1987, 101, 192–212.

Wierenga L., Langen M., Ambrosino S., van Dijk S., Oranje B., Durston S. Typical development of basal ganglia, hippocampus, amygdala and cerebellum from age 7 to 24. *Neuroimage*, 2014, 96, 67–72. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.03.072

Wimmer H., Schurz M., Sturm D., Richlan F., Klackl J., Kronbichler M., Ladurner G. A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: an fMRI study. *Cortex*, 2010, 46, 1284–1298. doi:10.1016/j.cortex.2010.06.004

Поступила в редакцию: 20 декабря 2022 г. Дата публикации: 28 февраля 2023г.

Сведения об авторах

Миронец Софья Анатольевна. Научный сотрудник, Отдел нейрокогнитивных, психофизиологических исследований и физической реабилитации ЛРНЦ «Русское Поле», Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, ул. Саморы Машела, д. 1, 117997 Москва, Россия.
Научный сотрудник, Лаборатория возрастной психогенетики, Психологический институт Российской академии образования, ул. Моховая, д. 9, стр. 4, 125009, Москва, Россия.
E-mail: sofia.mironets@fccho-moscow.ru

Ссылка для цитирования

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения. *Психологические исследования*. 2023. Т. 16, № 87. С. 6. URL: <https://psystudy.ru>

Адрес статьи: <https://doi.org/10.54359/ps.v16i87.1352>

Mironets S.A.^{1,2} The role of the cerebellum in the formation and functioning of reading

¹ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

The cerebellum is traditionally thought to control coordinated movements, but it is also involved in cognitive functions. Specifically, the posterior lateral part of the right cerebellum is involved in speech functions due to its anatomical connections with the dominant speech center in the left frontal lobe (in right-handed individuals), as well as with the temporal and parietal associative areas. Studies suggest that the role of the cerebellum in working and long-term memory, as well as speech functions, is primarily explained by the activation of the cortico-cerebellar network. Therefore, during reading, the cerebellum acts as a modulator of various brain networks. Studies of the cerebellum's role in reading are essential for optimizing the reading learning process and contribute to fundamental understanding of cognitive processes. Here we systematically review the latest data on the cerebellum's role in reading and other cognitive functions, summarizing the results of MRI, fMRI, PET studies, and clinical data on reading skill acquisition.

Keywords: reading, cerebellum, brain structures, eye movements

References

Addis D.R., Moloney E.E., Tippett L.J., P. Roberts R., Hach S. Characterizing cerebellar activity during autobiographical memory retrieval: ALE and functional connectivity investigations. *Neuropsychologia*, 2016, 90, 80–93, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2016.05.025

Alexander M.P., Gillingham S., Schweizer T., Stuss D.T. Cognitive impairments due to focal cerebellar injuries in adults. *Cortex*, 2012, 48(8), 980–990. doi:10.1016/j.cortex.2011.03.012

Allen G., Buxton R., Wong E., Courchesne E. Attentional activation of the cerebellum independent of motor involvement. *Science*, 1997, 275, 1940–1943.

Amaro E., Barker G.J. Study design in fMRI: Basic principles. *Brain and Cognition*, 2006, 60, 220–232.

Andersson J.L., Jenkinson M., Smith S. Non-Linear Optimisation. FMRIB Technical Report TR07JA1 (Online). Oxford, UK: The Oxford Centre for Functional MRI of the Brain, 2007.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Anokhin P.K. Funktsional'naya sistema, kak metodologicheskii printsip biologicheskogo i fiziologicheskogo issledovaniya. In: Sistemnaya organizatsiya fiziologicheskikh funktsii. Moscow: Meditsina, 1968, 25-28. (In Russian)

Akhutina T.V., Zasyapkina K.V., Romanova A.A. Analiz smyslovoy storony rechi detey 5-7 let. Shkola zdorov'ya, 2007, 2, 31–36. (In Russian)

Azevedo F.A., Carvalho L.R., Grinberg L.T., Farfel J.M., Ferretti R.E., Leite R.E., Jacob Filho W., Lent R., Herculano-Houzel S. Equal numbers of neuronal and nonneuronal cells make the human brain an isometrically scaled-up primate brain. *Journal of Comparative Neurology*, 2009, 513(5), 532–541. doi:10.1002/cne.21974

Bailey S., Aboud K., Nguyen T., Cutting L. Applying a network framework to the neurobiology of reading and dyslexia. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 2018, 10(37), 2–9. doi:10.1186/s11689-018-9251-z

Becker E.B., Stoodley C.J. Autism spectrum disorder and the cerebellum. *International Review of Neurobiology*, 2013, 113, 1–34. doi:10.1016/B978-0-12-418700-9.00001-0

Bezrukikh M.M., Ivanov V.V. Eye Movements in the Process of Reading as an Indicator of Development of Reading Skill. *Human Physiology*, 2013, 39, 68–77.

Bishop D.V.M. Cerebellar abnormalities in developmental dyslexia: Cause, correlate or consequence? *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 2002, 38(4), 491–498. doi:10.1016/S0010-9452(08)70018-2

Brossard-Racine M., Limperopoulos C. Normal Cerebellar Development by Qualitative and Quantitative MR Imaging: From the Fetus to the Adolescent. *Neuroimaging Clinics of North America*, 2016, 26(3), 331–339. doi:10.1016/j.nic.2016.03.004

Buckner R.L. The cerebellum and cognitive function: 25 years of insight from anatomy and neuroimaging. *Neuron*, 2013, 80(3), 807–815. doi:10.1016/j.neuron.2013.10.044

Buckner R.L., Krienen F.M., Castellanos A., Diaz J.C., Yeo B.T. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 2011, 106(5), 2322–2345. doi:10.1152/jn.00339.2011

Cámara S., Fournier M.C., Cordero P., Melero J., Robles F., Estes B., Vara M.T., Rodríguez S., Lassaletta Á., Budke M. Neuropsychological Profile in Children with Posterior Fossa Tumors with or Without Postoperative Cerebellar Mutism Syndrome (CMS). *Cerebellum*, 2019, 19, 78–88.

Carreiras M., Mechelli A., Estevez A., Price C.J. Brain activation for lexical decision and reading aloud: two sides of the same coin? *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2007, 19(3), 433–444.

Chen S.H.A., Desmond J.E. Temporal dynamics of cerebro-cerebellar network recruitment during a cognitive task. *Neuropsychologia*, 2005, 43(9), 1227–1237. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2004.12.015

Daly D.D., Love J.G. Akinetic mutism. *Neurology*, 1958, 8(3), 238–242. doi:10.1212/WNL.8.3.238

Dubasova A.V., Rayeva O.V., Riyekhakaynen Ye.I., Frolova A.M. Rol' chastotnosti v protsesse raspoznavaniya leksicheski neodnoznachnykh fragmentov rechevogo signala (na materiale russkogo yazyka). *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Yazyk i literatura*, 2012, 2, 132–140. (In Russian)

Eckert M.A., Leonard C.M., Richards T.L., Aylward E.H., Thomson J., Berninger V.W. Anatomical correlates of dyslexia: frontal and cerebellar findings. *Brain*, 2003, 126(2), 482–494. doi:10.1093/brain/awg026

Elkonin D.B. Eksperimental'nyy analiz nachal'nogo etapa obucheniya chteniyu. *Voprosy psikhologii uchebnoy deyatel'nosti mladshikh shkol'nikov*. Moscow: APN RSFSR, 1962. (In Russian)

Fabbro F., Moretti R., Bava A. Language impairments in patients with cerebellar lesions. *Journal of Neurolinguistics*, 2000, 13, 173–188.

Fliessbach K., Trautner P., Quesada C.M., Elger C.E., Weber B. Cerebellar contributions to episodic memory encoding as revealed by fMRI. *Neuroimage*, 2007, 35(3), 1330–1337. doi:10.1016/j.neuroimage.2007.02.004

Frey A., Ionescu G., Lemaire B., López-Orozco F., Baccino T., Guérin-Dugué A. Decision-Making in Information Seeking on Texts: An Eye-Fixation-Related Potentials Investigation. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 2013, 7, 39.

Galperin P.Ya. YAzykovoye soznaniye i nekotoryye voprosy vzaimosvyazi yazyka i myshleniya. *Voprosy philosophy*, 1977, 4, 95–101. (In Russian)

Galperin P.Ya. *Metody obucheniya i umstvennoye razvitiye rebenka*. Moscow: Moscow State University, 1985. (In Russian)

Grigorenko E.L. Vliyaniye individual'nykh osobennostey kognitivnogo razvitiya na ovladeniye navykami chteniya i pis'ma mladshimi shkol'nikami: PhD dissertation (Psychology). Moscow State University, Moscow, 2012. (In Russian)

Gottwald B., Wilde B., Mihajlovic Z., Mehdorn H.M. Evidence for distinct cognitive deficits after focal cerebellar lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 2004, 11(75), 1524–1531.

Gross-Tsur V., Ben-Bashat D., Shalev R.S., Levav M., Sira, L.B. Evidence of a developmental cerebello-cerebral disorder. *Neuropsychologia*, 2006, 44(12), 2569–2572. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.04.028

Hautzel H., Mottaghy F.M., Specht K., Müller H-W., Krause B.J. Evidence of a modality-dependent role of the cerebellum in working memory? An fMRI study comparing verbal and abstract n-back tasks. *NeuroImage*, 47(4), 2009, 2073–2082. doi:10.1016/j.neuroimage.2009.06.005

Hernandez A.E., Fiebach C.J. The brain bases of reading late learned words: evidence from functional MRI. *Visual Cognition*, 2006, 13, 1027–1043. doi:10.1080/13506280544000183

Horwitz B., Rumsey J.M., Donohue B.C. Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95(15), 8939–8944. doi:10.1073/pnas.95.15.8939

Ide J.S., Li C.S. A cerebellar thalamic cortical circuit for error related cognitive control. *Neuroimage*, 2011, 54(1), 455–464.

Jednoróg K., Gawron N., Marchewka A., Heim S., Grabowska A. Cognitive subtypes of dyslexia are characterized by distinct patterns of grey matter volume. *Brain Structure and Function*, 2013, 219(5), 1697–1707. doi:10.1007/s00429-013-0595-6

Jobard G., Crivello F., Tzourio-Mazoyer N. Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies. *NeuroImage*, 2003, 20, 693–712.

Jung K.I., Park M.H., Park B., Kim S.Y., Kim Y.O., Kim B.N., Park S., Song C.H. Cerebellar Gray Matter Volume, Executive Function, and Insomnia: Gender Differences in Adolescents. *Scientific Reports*, 2019, 9(1), 855. doi:10.1038/s41598-018-37154-w

Kandel E., Schwartz J., Jessell T. *Principles of Neural Science*. New York: McGraw-Hill, 2000.

Keren-Happuch E., Chen S.H.A., Ho M.H.R., Desmond J.E. A meta-analysis of cerebellar contributions to higher cognition from PET and fMRI studies. *Human Brain Mapping*, 2014, 35(2), 593–615. doi:10.1002/hbm.22194

King M., Hernandez-Castillo C.R., Poldrack R.A., Ivry R.B., Diedrichsen, J. Functional boundaries in the human cerebellum revealed by a multi-domain task battery. *Nature Neuroscience*, 2019, 22(8), 1371–1378. doi:10.1038/s41593-019-0436-x

Kornev A.N. Kognitivnyye i foneticheskiye kharakteristiki chteniya na nachal'nom etape yego usvoyeniya. In: *Problemy ontolingvistiki: mekhanizmy usvoyeniya yazyka i stanovleniye rechevoy kompetentsii: Proceedings of the International conference*. St. Petersburg, ILI RAN, 2015, 188–193. (In Russian)

Koustenis E., HernaizDriever P., de Sonneville L., Rueckriegel S.M. Executive function deficits in pediatric cerebellar tumor survivors. *European Journal of Paediatric Neurology*, 2016, 20(1), 25–37. doi:10.1016/j.ejpn.2015.11.001

Koziol L.F., Budding D., Andreasen N., D'Arrigo S., Bulgheroni S., Imamizu H., Ito M., Manto M., Marvel C., Parker K., Pezzulo G., Ramnani N., Riva D., Schmahmann J., Vandervert L., Yamazaki

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
T. Consensus paper: the cerebellum's role in movement and cognition. *Cerebellum*, 2014, 13(1), 151–177. doi:10.1007/s12311-013-0511-x

Kriber M., Bartl-Pokorny K.D., Pokorny F.B., Einspieler C., Langmann A., Körner C., Falck-Ytter T., Marschik P. B. The Relation between Reading Skills and Eye Movement Patterns in Adolescent Readers: Evidence from a Regular Orthography. *PLOS ONE*, 2016, 11(1), e0145934. doi:10.1371/journal.pone.0145934

Laidi C., Boisgontier J., Chakravarty M.M., Hotier S., d'Albis M.A., Mangin J.O., Devenyi G.A., Delorme R., Bolognani F., Czech C., Bouquet C., Toledano E., Bouvard M., Gras D., Petit J., Mishchenko M., Gaman A., Scheid I., Leboyer M., Zalla T., Houenou J. Cerebellar anatomical alterations and attention to eyes in autism. *Scientific Reports*, 2017, 7(1), 12008. doi:10.1038/s41598-017-11883-w

Leiner H.C., Leiner A.L., Dow R.S. Does the cerebellum contribute to mental skills? *Behavioral Neuroscience*, 1986, 100(4), 443–454.

Leontiev A.N. Kategoriya deyatel'nosti v sovremennoy psikhologii. *Voprosy psikhologii*, 1979, 3, 22. (In Russian)

Litovchenko A.I. Narusheniya rechi pri opukholyakh mozzhechka. *Ukrainskiy neyrokhirurgicheskiy zhurnal*, 2012, 2, 4–7. (In Russian)

López-Pérez P.J., Dampuré J., Hernández-Cabrera J.A., Barber H. Semantic Parafoveal-on-Foveal Effects and Preview Benefits in Reading: Evidence from Fixation Related Potentials. *Brain and Language*, 2016, 162, 29–34.

Lyon G., Shaywitz S., Shaywitz B. A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 2003, 53, 1–14.

Mariën P., Ackermann H., Adamaszek M., Barwood C.H.S, Beaton A., Desmond J., De Witte E., Fawcett A.J., Hertrich I., Kuper M., Leggio M., Marvel C., Molinari M., Murdoch B.E., Nicolson R.I., Schmahmann J.D., Stoodley C.J., Thurling M., Timmann D., Ziegler W. Consensus paper: language and the cerebellum: an ongoing enigma. *Cerebellum*, 2014, 13(3), 386–410. doi:10.1007/s12311-013-0540-5

Mariën P., Borgatti R. Language and the cerebellum. In: M. Manto, T.A.G.M. Huisman (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, 2018. pp. 154, 181–202. doi:10.1016/B978-0-444-63956-1.00011-4

Mascheretti S., Perdue M.V., Feng B., Andreola C., Dionne G., Jasińska K.K., Pugh K.R., Grigorenko E.L., Landi N. From BDNF to reading: Neural activation and phonological processing as multiple mediators. *Behavioural Brain Research*, 2021, 396, 112859. doi:10.1016/j.bbr.2020.112859

Mironets S., Shurupova M., Dreneva A. Reading in Children Who Survived Cerebellar Tumors: Evidence from Eye Movements. *Vision*, 2022, 6(1), 10. doi:10.3390/vision6010010

Molinari M., Chiricozzi F.R., Clausi S., Tedesco A.M., De Lisa M., Leggio M.G. Cerebellum and detection of sequences, from perception to cognition. *Cerebellum*, 2008, 7(4), 611–615.

Moretti R., Torre P., Antonello R., Carraro M., Zambito-Marsala S., Ukmar M. Peculiar aspects of reading and writing performances in patients with olivopontocerebellar atrophy. *Perceptual and Motor Skills*, 2002, 94, 677–694.

Nicolson R.I., Fawcett A.J., Dean P. Developmental Dyslexia: The Cerebellar Deficit Hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 2001, 24, 508–511. doi:10.1016/S0166-2236(00)01896-8

Norton E., Wolf M. Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, 2012, 63, 427–452.

Oh A.J., Chen T., Shariati M.A., Jehangir N., Hwang T.N., Liao Y.J. A simple saccadic reading test to assess ocular motor function in cerebellar ataxia. *PLOS ONE*, 2018, 13(11), e0203924. doi:10.1371/journal.pone.0203924

O'Reilly J.X., Beckmann C.F., Tomassini V., Ramnani N., Johansen-Berg H. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity. *Cerebral Cortex*, 2010, 20(4), 953–965. doi:10.1093/cercor/bhp157

Ortiz-Siordia L.E., Alvarez-Amador L., Gonzalez-Pina R. Anatomic and topographic models of the cerebellar areas that activates during the linguistic function. *Revue Neurologique*, 2008, 12, 16–31.

Pangelinan M.M., Zhang G., VanMeter J.W., Clark J.E., Hatfield B.D., Haufler A.J. Beyond age and gender: relationships between cortical and subcortical brain volume and cognitive-motor abilities in school-age children. *Neuroimage*, 2011, 54(4), 3093–3100. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.021

Papathanassiou D., Etard O., Mellet E., Zago L., Mazoyer B., Tzourio-Mazoyer N. A Common Language Network for Comprehension and Production: A Contribution to the Definition of Language Epicenters with PET. *NeuroImage*, 2000, 11(4), 347–357. doi:10.1006/nimg.2000.0546

Parvizi J. Corticocentric myopia: old bias in new cognitive sciences. *Trends in Cognitive Sciences*, 2009, 13(8), 354–359. doi:10.1016/j.tics.2009.04.008

Pernet C., Andersson J., Paulesu E., Demonet J.F. When all hypotheses are right: A multifocal account of dyslexia. *Human Brain Mapping*, 2009, 30, 2278–2292. doi:10.1002/hbm.20670

Petersen I.T., Bates J.E., D'Onofrio B.M., Coyne C.A., Lansford J.E., Dodge K.A., Pettit G.S., Van Hulle C.A. Language ability predicts the development of behavior problems in children. *Journal of Abnormal Psychology*, 2013, 122(2), 542–557. doi:10.1037/a0031963

Petersen S.E., Fox P.T., Posner M.I., Mintun M., Raichle, M.E. Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1989, 1(2), 153–170.

Peterson R., Pennington B. Developmental dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 2015, 11, 283–307.

Price C.J. A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 2012, 62(2), 816–847.

Pugh K., Landi N., Preston J., Mencl W.E., Austin A.C., Sibley D., Fulbright R.K., Seidenberg M.S., Grigorenko E.L., Constable R.T., Molfese P., Frost S.J. The relationship between phonological and auditory processing and brain organization in beginning readers. *Brain and Language*, 2013, 125(2), 173–183.

Pugh K., Landi N., Preston J., Pugh K., Mencl W., Jenner A., Katz L., Frost S., Lee J., Shaywitz S., Shaywitz B. Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 2000, 6, 207–213.

Quintero-Gallego E.A., Gomez C.M., Casares E.V., Marquez J., Perez-Santamaria F.J. Declarative and procedural learning in children and adolescents with posterior fossa tumours. *Behavioral and Brain Functions*, 2006, 2, 9.

Rae C., Harasty J.A., Dzendrowskyj T.E., Talcott J.B., Simpson J.M., Blamire A.M., Dixon R.M., Lee M.A., Thompson C.H., Styles P., Richardson A.J., Stein J.F. Cerebellar Morphology in Developmental Dyslexia. *Neuropsychologia*, 2001, 40, 1285–1292.

Ramnani N., Behrens T.E., Johansen-Berg H., Richter M.C., Pinsk M.A., Andersson J.L., Rudebeck P., Ciccarelli O., Richter W., Thompson A.J., Gross C.G., Robson M.D., Kastner S., Matthews P.M. The evolution of prefrontal inputs to the cortico- pontine system: diffusion imaging evidence from Macaque monkeys and humans. *Cerebral Cortex*, 2006, 16(6), 811–818. doi:10.1093/cercor/bhj024

Raschle N.M., Chang M., Gaab N. Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 2011, 57, 742–749.

Rayner K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 1998, 124, 372–422.

Rayner K., Liversedge S.P. Linguistic and cognitive influences on eye movements during reading. In S.P. Liversedge, I.D. Gilchrist, S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford University Press, 2011. pp. 751–766.

Reichle E.D., Rayner K., Pollatsek A. Eye movement control in reading: accounting for initial fixation locations and refixations within the E-Z Reader model. *Vision Research*, 1999, 39(26), 4403–4411. doi:10.1016/s0042-6989(99)00152-2

Rimrodt S.L., Clements-Stephens A.M., Pugh K.R., Courtney S.M., Gaur P., Pekar J.J., Cutting L.E. Functional MRI of sentence comprehension in children with dyslexia: beyond word recognition. *Cerebral Cortex*, 2009, 19(2), 402–413.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения
Riva D., Giorgi C. The cerebellum contributes to higher functions during development: evidence from a series of children surgically treated for posterior fossa tumours. *Brain*, 2000, 123, 1051–1061.

Robinson G.A., Cipolotti L., Walker D.G., Biggs V., Bozzali M., Shallice T. Verbal suppression and strategy use: a role for the right lateral prefrontal cortex? *Brain*, 2015, 138(4), 1084–1096. doi:10.1093/brain/awv003

Rusetskaya M.N. Strategiya preodoleniya disleksii uchashchikhsya s narusheniyami rechi v sisteme obshchego obrazovaniya. Moscow: Institut korrektsionnoy pedagogiki, 2009. (In Russian)

Ruz M., Wolmetz M.E., Tudela P., McCandliss B.D. Two brain pathways for attended and ignored words. *Neuroimage*, 2005, 27(4), 852–861.

Schatschneider C., Fletcher J.M., Francis D.J., Carlson C.D., Foorman B.R. Kindergarten prediction of reading skills: A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology*, 2004, 96, 265–282.

Schmahmann J.D. The cerebellum and cognition. *International Review of Neurobiology*. San Diego: 1st Edition Academic Press, 1997.

Schmahmann J.D., Caplan D. Cognition, emotion and the cerebellum. *Brain*, 2006, 129(2), 290–292. doi:10.1093/brain/awh730

Schmahmann J.D., Sherman J.C. The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain: a journal of neurology*, 1998, 121(4), 561–579.

Scott R.B., Stoodley C.J., Anslow P., Paul C., Stein J.F., Sugden E.M., Mitchell C.D. Lateralized Cognitive Deficits in Children Following Cerebellar Lesions. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2001, 43, 685–691.

Seassau M., Bucci M.-P. Reading and Visual Search: A Developmental Study in Normal Children. *PLoS ONE*, 2013, 8, e70261.

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения Shurupova M.A., Anisimov V.N., Latanov A.V., Kasatkin V.N. Osobennosti narusheniy dvizheniy glaz pri porazheniyakh mozzhechka razlichnoy lokalizatsii. Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akademika I.P. Pavlova, 2016, 3(24), 154–163. (In Russian)

Stanberry L.I., Richards T.L., Berninger V.W., Nandy R.R., Aylward E.H., Maravilla K.R., Stock P.S., Cordes D. Low-frequency signal changes reflect differences in functional connectivity between good readers and dyslexics during continuous phoneme mapping. *Magnetic Resonance Imaging*, 2006, 24(3), 217–229. doi:10.1016/j.mri.2005.12.006

Stoodley C.J. The Cerebellum and Neurodevelopmental Disorders. *Cerebellum*, 2015, 15, 34–37.

Stoodley C.J., Schmahmann J.D. The cerebellum and language: evidence from patients with cerebellar degeneration. *Brain and Language*, 2009, 110(3), 149–153. doi:10.1016/j.bandl.2009.07.006

Stoodley C.J., Schmahmann J.D. Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *Cortex*, 2010, 46(7), 831–844.

Stoodley C.J., Stein J.F. The cerebellum and dyslexia. *Cortex*, 2011, 47(1), 101–116. doi:10.1016/j.cortex.2009.10.005

Stowe L.A., Paans A.M., Wijers A.A., Zwarts F. Activations of «motor» and other non-language structures during sentence comprehension. *Brain and Language*, 2004, 89(2), 290–299.

Talyzina N.F. Upravleniye protsessom usvoyeniya znaniy. Moscow: Moskovskii universitet, 1984. (In Russian)

Taylor J.S., Rastle K., Davis M.H. Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 2013, 139(4), 766–791. doi:10.1037/a0030266

Tettamanti M., Moro A., Messa C., Moresco R.M., Rizzo G., Carpinelli A., Matarrese M., Fazio F., Perani D. Basal ganglia and language: phonology modulates dopaminergic release. *NeuroReport*, 2005, 16, 397–401. doi:10.1097/00001756-200503150-00018

Миронец С.А. Роль мозжечка в становлении и функционировании навыка чтения

Timmann D., Drepper J., Frings M., Maschke M., Richter S., Gerwig M., Kolb F.P. The human cerebellum contributes to motor, emotional and cognitive associative learning. A review. *Cortex*, 2010, 46(7), 845–857.

Tomaiuolo F., Campana S., Voci L., Lasaponara S., Doricchi F., Petrides M. The Precentral Insular Cortical Network for Speech Articulation. *Cerebral Cortex*, 2021, 31(8), 3723–3731.

Tomblin J.B., Zhang X., Buckwalter P.X., Catts H. The association of reading disability, behavioral disorders, and language impairment among second-grade children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2000, 41(4), 473–482.

Travis T., Alvareza A., Fieza J.A. Current perspectives on the cerebellum and reading development. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2018, 92, 55–66. doi:10.1016/j.neubiorev.2018.05.006

Thürling M., Hautzel H., Küper M., Stefanescu M.R., Maderwald S., Ladd M.E., Timmann D. Involvement of the cerebellar cortex and nuclei in verbal and visuospatial working memory: a 7 T fMRI study. *Neuroimage*, 2012, 62(3), 1537–1550. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.037

Turkeltaub P.E., Gareau L., Flowers D.L., Zeffiro T., Eden G. Development of neural mechanisms for reading. *Nature Neuroscience*, 2003, 6, 767–773.

Ullman M., Earle F., Walenski M., Janacek K. The neurocognition of developmental disorders of language. *Annual Review of Psychology*, 2020, 71, 389–417.

Vellutino F.R., Fletcher J.M., Snowling M.J., Scanlon D.M. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2004, 45(1), 2–40. doi:10.1046/j.0021-9630.2003.00305.x

Vlachos F., Papathanasiou I., Andreou G. Cerebellum and reading. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 2007, 59(4), 177–183. doi:10.1159/000102929

Vygotsky L.S. *Sobraniye sochineniy*, Moscow: Pedagogika, 1984. Vol. 6. (In Russian)

Wagner R.K., Torgesen J.K. The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 1987, 101, 192–212.

Wierenga L., Langen M., Ambrosino S., van Dijk S., Oranje B., Durston S. Typical development of basal ganglia, hippocampus, amygdala and cerebellum from age 7 to 24. *Neuroimage*, 2014, 96, 67–72. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.03.072

Wimmer H., Schurz M., Sturm D., Richlan F., Klackl J., Kronbichler M., Ladurner G. A dual-route perspective on poor reading in a regular orthography: an fMRI study. *Cortex*, 2010, 46, 1284–1298. doi:10.1016/j.cortex.2010.06.004

Information about authors

Mironets Sofia Anatolyevna. Research Associate at the Neurocognitive Laboratory, Dmitry Rogachev National Medical Research Center Of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, 1 Samory Mashela str., 117997, Moscow, Russia.

Research Associate at the Developmental Behavioral Genetics Laboratory, Psychological Institute Russian Academy of Education, 9-4 Mochovaya str., 125009, Moscow, Russia.

E-mail: sofia.mironets@fccho-moscow.ru

For citation: Mironets S.A. The role of the cerebellum in the formation and functioning of reading. *Psikhologicheskie Issledovaniya*, 2023, Vol. 16, No. 87, p. 6. <https://psystudy.ru>