

УДК 159.9

## СПЕЦИФИКА ОБРАБОТКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ У ДЕТЕЙ С НАРУШЕНИЕМ СЛУХА В СИТУАЦИИ ОБУЧЕНИЯ: АЙТРЕКИНГ-ИССЛЕДОВАНИЕ<sup>1</sup>

© 2025 г. Я. К. Смирнова<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет,  
656049, Барнаул, пр. Ленина, 61, Россия.

\*Кандидат психологических наук, доцент кафедры общей и прикладной психологии.  
E-mail: yana.smirnova@mail.ru

Поступила 23.05.2024

*Аннотация.* В статье рассматривается проблема последствий ранней слуховой депривации, которая приводит к нейронной и когнитивной реорганизации обработки зрительной информации. Целью исследования стало при помощи айтрекера выявить специфику обработки зрительной информации, которая возникает вследствие ранней слуховой депривации. Основной задачей стало зафиксировать айтрекером стратегии паттерна движения глаз в процессе восприятия визуальных наглядностей учебных материалов при решении мыслительных задач, которые позволят выявить ряд особенностей обработки зрительной информации у детей с нарушением слуха. Проведен сравнительный анализ типично развивающихся детей и с нарушением слуха с кохлеарными имплантами 5–7 лет. Для фиксации особенностей обработки зрительной информации мы использовали визуальные наглядности учебного материала для того, чтобы приблизить экспериментальные условия к естественным условиям обучения. Чтобы проследить специфику переработки зрительной информации в ситуации обучения, в качестве экспериментальных мы применили классические задания на исключение предметов, простые невербальные аналогии, опознавания предметов на иллюстрациях и анализировали особенности окуломоторной активности при восприятии стимульного материала в процессе выполнения заданий детьми. Отслеживание движения глаз осуществлялось стационарным айтрекером GP3. С помощью путей сканирования и анализа последовательности фиксации выявлены отличия в обработке зрительной информации у детей с нарушением слуха при восприятии визуальной информации (наглядностей учебного материала). Зафиксированы изменения в стратегиях визуального поиска (увеличение количества переключений, повторных просмотров, паттернов и последовательности переходов между областями), пространственном распределении внимания (более широкий диапазон, смещение на периферию), последовательности обработки зрительной информации и динамике поля интереса, повторяемости и направлении сканирования изображений. Детям с нарушением слуха более характерна стратегия “снизу–вверх” и хаотичность поиска информационных признаков. Можно прийти к выводу, что изменения последовательности обработки информации и распределения зрительного внимания будут сказываться в процессе обучения, а именно в перцептивных действиях ребенка, направленных на зрительное обнаружение, опознавание, различение или идентификацию информационных признаков, необходимых для дальнейшего осуществления мыслительных операций.

*Ключевые слова:* дошкольный возраст, зрительный гнозис, зрительное внимание, обучение, слуховая депривация, атипичное развитие, нарушение слуха, кохлеарная имплантация, окулография, айтрекер.

DOI: 10.31857/S0205959225030072

### ВВЕДЕНИЕ

Сенсорная депривация, такая как глухота, может привести к изменениям в обработке информации от остальных сенсорных модальностей [20; 10]. Нейронная пластичность, способность мозга приспосабливаться и реорганизовывать свою нервную структуру

<sup>1</sup>Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 24-28-20061 “Айтрекинг исследование трудностей обучения, связанных с особенностями визуального внимания у детей с нарушением слуха”.

и адаптивные изменения, которые происходят после сенсорной депривации [37; 10], приводят к тому, что утрата одной сенсорной модальности (например, слуха) может привести к реорганизации других неповрежденных сенсорных модальностей (например, зрения) [8; 34]. Глухота приводит к реорганизации кортикальных функций, и потеря слухового чувства на раннем этапе развития может вызвать каскад сложных эффектов, которые изменят весь набор перцептивных и когнитивных способностей ребенка, а не только те, которые напрямую связаны со слухом и обработкой акустических сигналов [8]. В связи с этим у глухих людей последствия сенсорной депривации часто исследуют с точки зрения кросс-модального захвата утраченных сенсорных функций [11; 32; 37].

Накоплены данные, свидетельствующие о том, что слуховая депривация в первые годы жизни [25] может привести к глобальным изменениям нейрокогнитивных функций в обработке зрительной информации [17; 31] и иметь основополагающее значение для калибровки зрительных функций [7–9].

Некоторые исследования показывают, что даже после восстановления слуха с помощью кохлеарной имплантации у многих детей по-прежнему наблюдается задержка в развитии нейронных цепей, лежащих в основе систем обработки информации [8]. Период слуховой депривации может привести ко вторичным нарушениям, связанным с обработкой, представлением и организацией последовательности визуальных и зрительно-пространственных паттернов [15]. Современные данные исследований отражают дополнительный эффект слуховой депривации в виде задержки в неслуховых функциях обработки информации, связанных с изменением последовательности и времени обработки информации о поступающем сигнале [26]. Возможное объяснение механизма такого изменения последовательности обработки информации заключается в том, что звуковой сигнал, по сравнению со зрительным, несет информацию, связанную со временем изменения и последовательности порядка предъявления стимула. С этой точки зрения слух является основным шлюзом для восприятия последовательных паттернов информации. У детей с нарушением слуха ввод данного типа информации будет осуществляться с задержкой или недоступен. Депривация опыта восприятия и производства звука, отсутствие слуховой стимуляции препятствуют развитию навыка кодирования последовательной информации и манипулирования ею [15; 16].

В свою очередь, меняя последовательность и время обработки информации, глухота изменяет пространственное распределение зрительного внимания [8].

Поэтому большинство исследований по данной проблеме были посвящены зрительному вниманию.

В науке возникли три противоположные точки зрения, объясняющие влияние сенсорной депривации в основном на зрительное внимание глухих. За последние двадцать лет велись споры о том, приводит ли ранняя глубокая глухота к дефициту зрительного внимания (гипотеза дефицита) или к компенсаторным изменениям в процессах внимания (гипотеза усиления или компенсации). Результаты исследований сторонников третьей “интегративной” гипотезы показывают, что не все аспекты зрительного внимания изменяются при ранней глухоте, что указывает на довольно специфические эффекты кросс-модальной пластичности [10].

Согласно гипотезе дефицита, интеграция информации от различных органов чувств является важной частью развития нормального функционирования внимания в рамках каждой отдельной сенсорной модальности, и нарушение слуха будет вызывать дефицит зрительных функций (например, дефицит зрительного внимания) [30]. В отличие от гипотезы дефицита существует точка зрения, согласно которой кросс-модальная реорганизация после ранней сенсорной депривации приводит к компенсации, а именно к повышению чувствительности остальных модальностей [20]. В случае ранней глухоты зрительная система реорганизуется, чтобы компенсировать недостаток слуховой информации так, что зрительные навыки теперь берут на себя функциональную роль, выполняемую слухом у типично развивающегося ребенка [8]. Например, показано, что ранняя глухота приводит к перераспределению большего количества ресурсов внимания на периферическое поле зрения, глухие люди распределяют свое пространственное внимание в более широком диапазоне [13], особенно в условиях избирательного внимания для компенсации потери слуховой активности к потенциально опасным стимулам, находящимся за пределами текущего фокуса внимания [8; 10; 14; 35]. Согласно третьей, интегративной точке зрения ранняя слуховая депривация не приводит просто к улучшению или ухудшению визуального внимания, а в ходе развития неодинаково реорганизуются его отдельные аспекты [18].

Несмотря на противоречивость этих точек зрения, каждая из них дополняет представления о кросс-модальной реорганизации зрительного внимания вследствие ранней слуховой депривации. Более того, каждая гипотеза рассматривала разные аспекты зрительного внимания: гипотеза дефицита подтверждается исследованиями временных характеристик распределения зрительного внимания, а гипотеза компенсации подтверждается исследованиями

распределения внимания в пространстве. В связи с этим исследования зрительного внимания у глухих дали неоднозначные выводы о том, приводит ли измененная нервная организация к улучшению или ухудшению способностей зрительного внимания у глухих по сравнению с людьми с нормальным слухом [36].

Важно отметить ограниченность предыдущих исследований в связи с тем, что изучалось только зрительное внимание, не затрагивая комплексно состояния зрительного гнозиса и стратегий обработки зрительной информации в целом, поэтому на сегодняшний день данные противоречивы и фрагментарны.

Тем не менее существуют комплексные исследования, которые подтверждают, что при нарушении слуха у детей наблюдается слабость переработки прежде всего слуховой и одновременно зрительной информации в целом [1].

В большинстве таких исследований, связанных с глухотой, изучались способности восприятия после восстановления слуха посредством кохлеарной имплантации и (недостатки) кросс-модальной пластичности, которые влияют или даже препятствуют восстановлению слуха, а не просто пространственные и временные процессы в обработке зрительной информации. У детей с нарушением слуха фиксируют атипичную зрительную последовательность обработки информации [16]. Это отображается в специфике стратегий переработки зрительной и зрительно-пространственной информации. Дети с нарушением слуха демонстрируют трудности при выполнении визуальных задач на определение зрительной последовательности сигналов, зрительной дискриминации, зрительной памяти и зрительно-моторной последовательности [12]. Также у детей с нарушением слуха ранее была обнаружена специфика зрительно-моторной интеграции, недоразвитие в плане зрительного восприятия, в частности низкая скорость восприятия и узнавания предметов и реакции на цели зрительной периферии. Некоторые исследования показывают, что глухота приводит к нарушению способности оценивать длительность зрительных стимулов [21; 22; 33]. Исследования также выявляют у детей с кохлеарными имплантами по сравнению с их сверстниками задержки и более длительное время реакции на задачу визуального последовательного сопоставления, что позволяет предположить более медленную обработку визуальных последовательных стимулов. Указывают на весьма специфические изменения зрительной обработки информации при нарушении слуха: меняется визуальный поиск, пространственное ориентирование [19]. В исследованиях по реорганизации визуального поиска при нарушении

слуха пришли к выводу, что глухота привела к переходу от последовательной (внимательной) к параллельной (предвнимательной) обработке зрительной информации. Также ранняя слуховая депривация может влиять на факторы внимания, особенно на внимание к визуальным деталям. Различия между глухими и слышащими людьми особо отмечаются при обработке информации в условиях неопределенности и/или выборе цели среди отвлекающих факторов [8].

При этом, на наш взгляд, в связи с тем, что в обучении детей с нарушением слуха доминируют методы с применением зрительно-пространственного предъявления учебного материала [26; 29] важно понимать, как сказывается функционирование зрительной обработки информации именно в ситуации обучения. Это обосновано тем, что, по статистике, трудности обучения у 20% детей связаны именно со зрительными функциями [2]. Отдельно отмечают, что на обучение детей влияет не только необходимость одновременного привлечения слухового и зрительного внимания, но и учет того, что у них увеличивается латентный период реакции на звуки. Афферентный слуховой сигнал от кохлеарного имплантата приводит к кросс-модальным изменениям в способности поддерживать зрительное внимание и отличать целевые стимулы от нецелевых [23]. Поэтому при выполнении учебного задания у кохлеарноимплантированных детей фиксируются особенности визуального внимания [28], у них хуже успешность выполнения тех заданий, где требуется упорядочивание визуальных стимулов [17] и визуальный мониторинг последовательно предъявляемых зрительных стимулов [17; 35]. Именно с этими особенностями связывают ухудшение успеваемости детей с нарушением слуха [24], которое в сопоставлении со слышащими сверстниками может достигать 4% [35].

Также зрительная обработка информации в процессе обучения проявляется в самих перцептивных действиях обнаружения, сличения, опознавания информационно-признаковых признаков, необходимых для решения мыслительных задач, а маршрут движения глаз ребенка при обработке зрительной информации может служить критерием эффективности выполнения задачи и зрительной ориентировки. Поэтому оценка состояния обработки зрительной информации может обеспечить базовое понимание отличия детей с нарушением слуха в успеваемости. Кроме того, выполнение одних и тех же зрительных задач глухими и слышащими людьми может быть связано с разными когнитивными способностями, что позволяет предположить, что в этих группах в зрительно-пространственной обработке могут участвовать разные когнитивные процессы [26–27].

Поэтому изучение зрительного гнозиса ребенка с нарушением слуха позволяет оценить не только его возможности по переработке зрительной информации, но и те процессы, которые отражаются на способности к зрительному анализу и синтезу в мыслительной деятельности.

Таким образом, в нашем исследовании стояла задача проследить специфику обработки зрительной информации у детей с нарушением слуха в естественных условиях восприятия визуального учебного материала в ситуации обучения.

С точки зрения методологии исследования необходимы измерения, которые напрямую указывают на когнитивную обработку во время обучения. С появлением метода слежения за движением глаз стало возможным объективно зафиксировать обработку зрительной информации. Именно фиксация движений глаз может выявить стратегии обработки зрительной информации, глубину обработки информации [38]. При этом мы планируем применить айтрекинг в ходе решения мыслительных задач ребенком. В отличие от поведенческих и тестовых методов благодаря объединенному потенциалу айтрекинга и заданий, предполагающих осуществление мыслительных операций, становится возможным анализировать процессы выбора и интеграции визуальной информации во время решения учебных задач, а не только визуального внимания.

Исходя из обозначенных проблем, мы хотим проследить при помощи айтрекинга кросс-модальные эффекты сенсорной депривации и одновременно специфику обработки зрительной информации у детей с нарушением слуха. Айтрекинг позволит детально проанализировать изменчивость посещения определенных областей интереса, а также произвести оценку обработки зрительной информации между предъявлением стимула и реакцией, определить этапы обработки.

Цель исследования – при помощи айтрекера выявить специфику обработки зрительной информации, которая возникает вследствие ранней слуховой депривации. Задачей исследования стало выявление особенностей глазодвигательной активности кохлеарноимплантированных детей с нарушением слуха при восприятии учебного стимульного материала в процессе решения мыслительных задач.

## МЕТОДИКА

*Участники исследования.* Исследование проводилось на детях дошкольного возраста 5.5–7 лет. 15 дошкольников с нарушением слуха (сенсоневральной тугоухостью, класс Н90 по МКБ; средний порог

слухового восприятия на частотах 0.5, 1, 2 и 4 кГц – более 90 дБ), из них 8 мальчиков и 7 девочек; средний возраст – 6 лет. Кохлеарный имплант установлен в возрасте 3 лет. Выборка набиралась рандомизированным способом и уравнена по времени возникновения слухового дефекта и проведения кохлеарной имплантации. Коррекция после кохлеарной имплантации проходила в специализированном детском саду. Все дошкольники имеют достаточный уровень развития мышления, порога распознавания речи, понимания обращенной речи для проведения исследования. При обследовании психологом и психиатром в рамках медико-психолого-педагогической комиссии оценивался уровень интеллектуального развития при помощи теста интеллекта Векслера для дошкольного и младшего школьного возраста (*Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence, WPPSI*). Дети с нарушением слуха имели показатели сниженной нормы и абсолютной нормы развития интеллекта ( $\geq 110$  баллов). Выборка контраста – 20 типично развивающихся дошкольников, из них 8 девочек, 12 мальчиков, средний возраст  $6.1 \pm 0.4$ . Дети с нормативным возрастным развитием по результатам диагностики психологом детского сада имели уровень абсолютной нормы развития интеллекта ( $> 110$  баллов). Дошкольники имеют достаточный опыт применения звукоусиливающей аппаратуры.

*Процедура исследования.* Мы хотели максимально приблизить экспериментальные условия к естественным условиям обучения детей с нарушением слуха и выбрали в качестве диагностических заданий классические задания, используемые в их обучении и коррекции.

Мы опирались на то, что в адаптированной образовательной программе для детей с нарушениями слуха (глухих, слабослышащих и позднооглохших, перенесших операцию по кохлеарной имплантации) выделяются целевые ориентиры для обучающегося с кохлеарными имплантами к окончанию периода реабилитации: с одной стороны, развить языковую способность, речевую активность; с другой – создать условия для развития мышления и способов мыслительной деятельности.

При этом обучение детей с нарушением слуха происходит на слухо-зрительной, зрительной, зрительно-вибрационной основе, и задачей является переход от слухо-зрительного к слуховому восприятию.

Поэтому нами были выбраны задания, которые одновременно задействуют зрительную обработку информации и требуют связи между слуховым и зрительным представлениями образов предметов и их речевое обозначение. Весь иллюстративный материал в выбранных нами диагностических заданиях

служит зрительной опорой для активации словаря и развития фонематического слуха. Также в связи с тем, что одной из задач стало выявление того, как изменяется зрительная обработка информации именно в ситуации обучения, мы подобрали задания, требующие установления логических связей и отношений между понятиями (предметами) с помощью анализа, что позволяет судить об уровне обобщающих операций ребенка, возможности отвлечения, способности выделять существенные признаки предметов или явлений и на этой основе производить необходимые суждения с опорой на зрительную информацию.

Мы использовали ряд заданий:

- исключение предметов (стимульный материал взят из нейропсихологического альбома Н.Я. Семаго, М.М. Семаго [5] и альбома “Экспресс-диагностика в детском саду” Н.Н. Павловой, Л.Г. Руденко [4]);
- простые невербальные аналогии (стимульный материал взят из нейропсихологического альбома Н.Я. Семаго, М.М. Семаго [5]);
- опознавание предметов на иллюстрациях. Мы использовали в качестве стимульного материала наглядные предметные и сюжетные иллюстрации для изучения названий предметов и расширения словарного запаса из букваря для слабослышащих детей Н.Ю. Донской, Н.И. Линиковой [3].

**Методики и аппаратура.** Для того, чтобы зафиксировать особенности обработки зрительной информации у детей с нарушением слуха, мы применили метод анализа движения глаз.

Фиксация данных осуществлялась стационарным айтрекером *GP3*, точность регистрации: 0.5–1; частота дискретизации: 60 Гц; калибровка: 5- или 9-точечная; область свободного перемещения головы: 25 см (по горизонтали), 11 см (по вертикали). Настройка отслеживания – настольное крепление. Калибровка была принята, если средняя погрешность составляла  $< 0.30^\circ$  угла обзора.

Изображения предъявлялись на экране ноутбука 39.6 см (15.6), *Full HD* (1920 x 1080), 16:9 *ComfyView*. Размер изображений 600 x 480. Изображения менялись контролируемо по нажатию клавиши экспериментатором после ответа ребенка. Расстояние просмотра от глаз ребенка до монитора не менее 30 см (требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях).

Высота сиденья стульев 34 см, ширина 29 см (по ГОСТ 19301.2-2016. Мебель детская дошкольная. Функциональные размеры стульев)

Для анализа специфики движения глаз нами были произведены: визуализация перемещения взгляда в виде графиков движения глаз и визуализация при помощи тепловых карт.

В качестве области интереса были выбраны границы иллюстрации изображения.

Данные обрабатывались с помощью программного обеспечения “Нейробюро” (*Neurobureau eye tracking analysis software, Neuroiconica assistive*).

Мы проверили сходство последовательностей графиков движения и тепловых карт детей с нарушением слуха. Карты распределения внимания, или тепловые карты, позволили визуализировать плотность распределения фиксаций и направления взгляда.

Для этого отдельные тепловые карты детей с нарушением слуха были размещены на одной сетке координат и далее оценивалась метрика сходства (рис. 1). В программном обеспечении “Нейробюро” возможно произвести оценку сходства графиков движения глаз и тепловых карт группы детей.

Алгоритм вычислений основывается на данных о временной отметке, координатах по горизонтальной оси и координатах по вертикальной оси. При этом каждой временной отметке соответствуют пространственные координаты положений взгляда [6]. Частота временных отметок исходит из частоты дискретизации айтрекеров *Gazepoint* (60 Гц и 150 Гц). Пространственные координаты соответствуют точке направления взгляда, рассчитанной на айтрекере, на экране монитора по значениям *LPOGX, LPOGY, RPOGX, RPOGY/BPOGX, BPOGY*. Пространственные координаты представлены в виде координат, где (0, 0) – верхний левый, (0.5, 0.5) – центр экрана, (1.0, 1.0) – нижний правый [6]. Анализируются разные статические распределения плотности вероятности направления взгляда.

Объединение происходило по времени и углу фиксаций. Мы оставили максимальное время между фиксациями 0.001 с, максимальный угол между фиксациями 0.

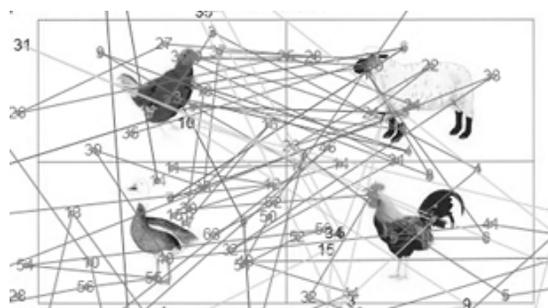


Рис. 1. Пример объединения графиков движения взгляда детей с нарушением слуха.

По графикам движения глаз мы сопоставляли последовательность саккад и фиксаций (представлены на графиках движения глаз как набор векторов). Для каждой пары векторов вычислялось такое расстояние между ними, при котором суммарная дистанция будет минимальной [6]. Величина сходства рассчитывалась по пяти показателям: различия в амплитуде, в начальной позиции, в направлении векторов, в продолжительности фиксаций, в длине последовательностей. Также производилось сопоставление тепловых карт [6].

Мы сопоставляли пространственные данные (где происходили фиксации), динамическое объединение всех точек взгляда, что позволило проанализировать специфику механизмов внимания (порядок внимания) детей с нарушением слуха при выполнении учебных задач.

На тепловых картах визуально отображается классическая цветовая градация зон внимания: красные области соответствуют большему числу фиксаций взгляда (наибольший интерес), далее по убыванию – желтые, зеленые, синие, голубые области – соответствуют меньшему числу фиксаций взгляда (более низкая доля внимания).

Аналитика включала в себя информацию о движении глаз, координатах, траектории: точки остановки взгляда; анализ маршрута движения взгляда (определения последовательности рассматривания элементов); количество фиксаций.

*Декларация об этике.* Исследование было рассмотрено и одобрено Этическим комитетом ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (протокол 8 от 30.11.2023 г.). Для проведения исследования всеми родителями детей подписано информированное согласие.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы проанализировали графики движения глаз и тепловые карты детей с нарушением слуха и типично развивающихся детей при выполнении заданий

на предметную классификацию, нахождение простых невербальных аналогий и опознавание предметов.

В каждом из заданий мы выделили типичные паттерны движений глаз, специфичные для детей с нарушением слуха в отличие от детей группы нормы.

По тепловым картам и графикам движения глаз фиксируется, что пространственное распределение внимания детей с нарушением слуха смещается на периферию (рис. 2, 4).

Также по фиксациям, числу возвратов и пересмотров, амплитуде саккад на области интереса, длине пути сканирования мы можем говорить о специфике зрительного поиска у детей с нарушением слуха. В графике движения глаз детей с нарушением слуха наблюдается непоследовательность, большое число возвратов и пересмотров, хаотичность, высокий разброс позиций взора (рис. 3, 6).

По последовательности фиксаций и увеличении их количества мы видим, что они происходят в хаотичном порядке, не на существенных признаках, необходимых для решения задачи, а более заметных, что посещение определенных зон и фиксации связаны не с отбором информационных признаков, а с соскальзыванием внимания и свободным рассматриванием заинтересовавших стимулов. Дети с нарушением слуха делают большое количество фиксаций прежде, чем опознают и принимают решение об ответе. Можно прийти к выводу о развернутом характере ориентировочной деятельности и трудности выделения информационных признаков. Также такое увеличение количества фиксаций и переходов можно рассматривать как увеличение когнитивной сложности восприятия.

На тепловых картах детей с нарушением слуха также можем наблюдать “размытие”, нечеткость областей интереса, уменьшение соотношения площади области интереса к площади стимула (рис. 4).

Нечеткость областей интереса и увеличение площади диапазона поиска и опознавания также подтверждают трудности выделения информационного признака и нецеленаправленный зрительный поиск.

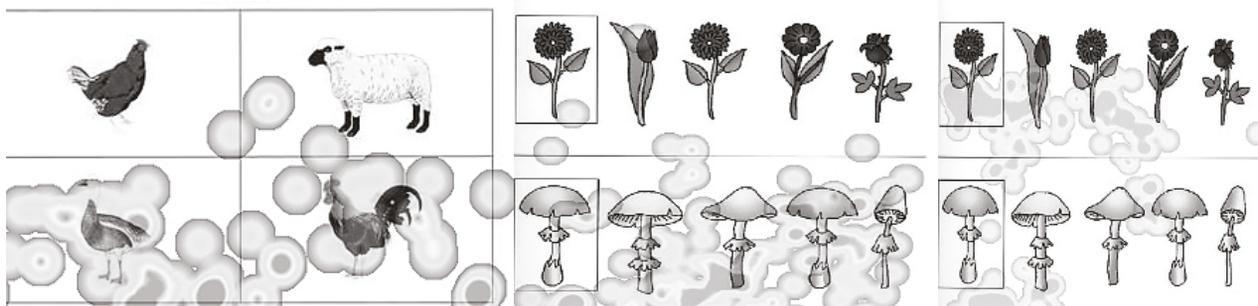


Рис. 2. Пример смещения пространственного внимания у детей с нарушением слуха

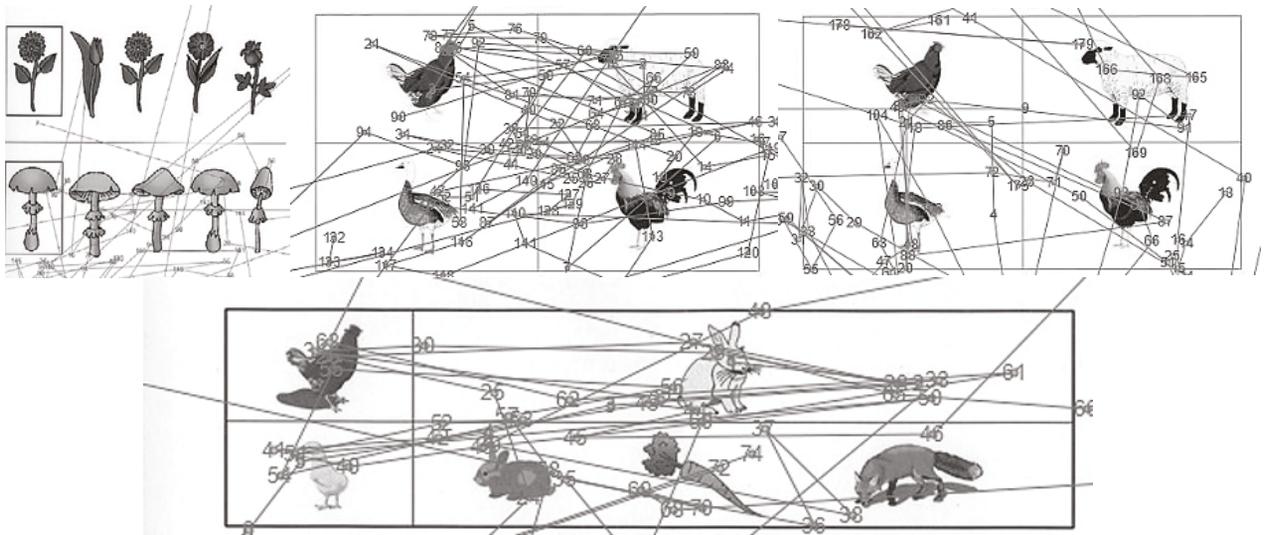


Рис. 3. Пример специфики зрительного поиска у детей с нарушением слуха

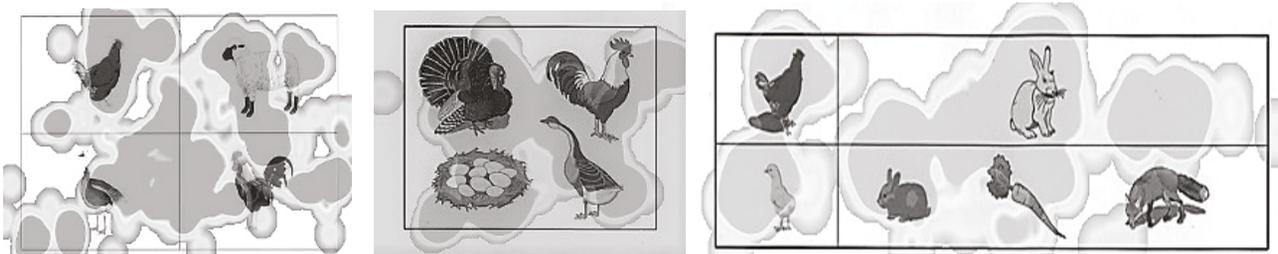


Рис. 4. Пример изменения зон интереса у детей с нарушением слуха

По большому количеству фиксаций, повторных просмотров и переходов (рис. 3) мы можем говорить о потребности в детализации информации.

Также у детей с нарушением слуха выделяются две противоположные тенденции при отборе информационных признаков: первая – сужение зоны поиска и минимальное количество фиксаций (рис. 5); вторая – наоборот, излишнее увеличение зоны поиска, увеличение количества фиксаций и высокий разброс позиций взора (рис. 6).

Обе противоположные тенденции отображают когнитивную сложность выделения информационного

признака, скорее свободное рассматривание, чем целенаправленный поиск, неустойчивость интереса и внимания. Обе тенденции отображают снижение мер заметности информации, интереса и глубины обработки информации.

Для сравнения приведем примеры графиков движения глаз типично развивающихся детей (рис. 7).

Отмечается последовательность посещенных областей, различия проявляются в динамике оперативного поля (меняются сами зоны внимания и где происходит поиск для опознавания предметов на изображении), количество фиксаций и переходов

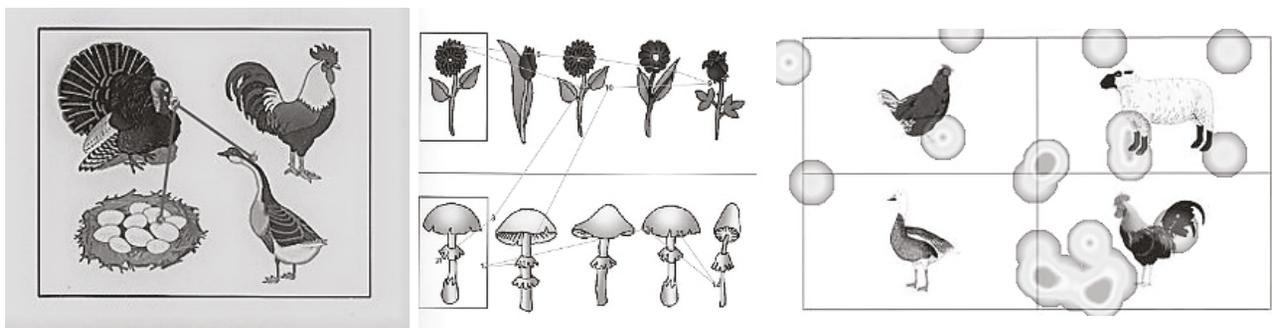


Рис. 5. Пример сужения зоны поиска у детей с нарушением слуха

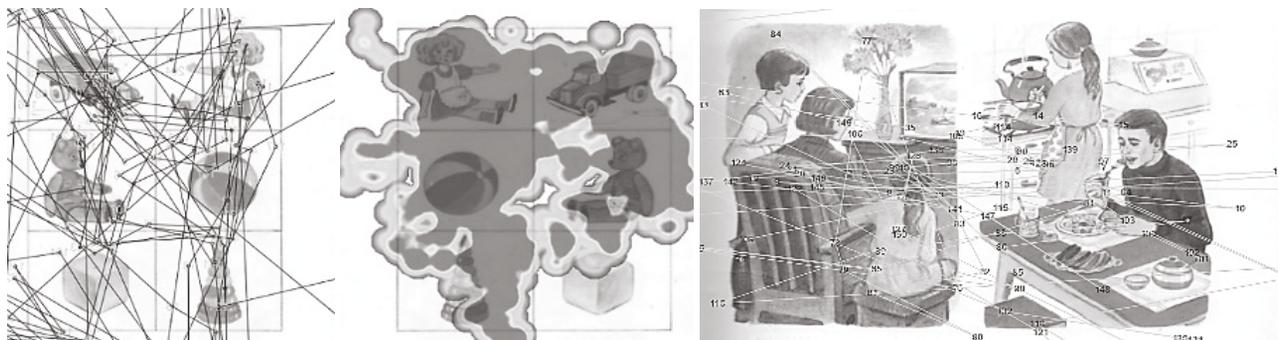


Рис. 6. Пример увеличения зоны поиска у детей с нарушением слуха



Рис. 7. Пример графиков движения глаз типично развивающихся детей

(их значительно меньше, процесс ориентировки свернут) и в каких местах (в целевых зонах, на существенных признаках). Характер движения глаз типично развивающихся детей больше отображает целенаправленный поиск, последовательное, постепенное изучение “сверху вниз” с выраженными, четкими зонами интереса (у детей с нарушением слуха выборочный просмотр с фиксациями на наиболее привлекательных участках, смещенный на периферию, нецеленаправленный, мало отображает поиск информационных признаков для решения задачи).

В подтверждение особенностей окуломоторной активности, которую мы зафиксировали в графиках движений глаз и тепловых картах, приведем сравнение с помощью критерия U Манна–Уитни количественных показателей групп детей с нарушением слуха и типично развивающихся детей (табл. 1).

О подтверждении изменения зон поиска и опознавания и смешения пространственного распределения внимания говорят отличия соотношений площади области интереса к площади стимула; общее время просмотра и число возвратов можно рассматривать как подтверждение специфичности последовательности обработки зрительной информации, потребности в детализации, глубине и интенсивности обработки информации, изменения порядка внимания и его устойчивости; продолжительность первой фиксации на области интереса и время до первой фиксации на области интереса

можно рассматривать как изменение заметности визуальной информации. Уменьшение времени просмотра в сочетании с уменьшением амплитуды саккад может быть связано с параллельной обработкой и фрагментарностью восприятия.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ стратегий паттерна движения глаз, зафиксированный айтрекером при восприятии визуальных наглядностей учебных материалов в процессе решения мыслительных задач, позволил выявить ряд особенностей зрительной переработки информации у детей с нарушением слуха.

Сравнение контрастных групп типично развивающихся детей и детей с нарушением слуха позволило прийти к выводам, что ранняя слуховая депривация приводит к специфике в переработке зрительной информации в нескольких аспектах.

Во-первых, наши данные отслеживания движения глаз дополняют представления о том, что вследствие слуховой депривации у кохлеарноимплантированных детей существуют особенности в последовательности обработки зрительной информации (как в данных М. Marschark и др. [26]), о том, что дети с нарушением слуха имеют атипичную зрительную последовательность обработки информации по сравнению со сверстниками (как в данных С. Conroy и др. [15; 16]), или,

**Таблица 1.** Сравнение глазодвигательной активности детей с нарушением слуха и типично развивающихся детей

Параметры		Статистики критерия			
		типично развивающиеся дошкольники	дошкольники с нарушением слуха	Статистика U Манна–Уитни	Асимпт. знч. (двухсторонняя)
Задание на классификацию	число возвратов в область интереса	2 ± 2.78	7.28 ± 5.83	25	0.014
	соотношение площади области интереса к площади стимула	0.93 ± 0	0.92 ± 0.009	36	0.025
	продолжительность первой фиксации на области интереса	0.47 ± 0.27	0.14 ± 0.019	4	0.030
Задания на простые и сложные невербальные аналогии	время до первой фиксации на области интереса	0.09 ± 0.19	2.10 ± 4.25	73	0.046
	общее время просмотра области интереса	8.14 ± 2.44	4.63 ± 3.12	100	0.023
	средняя продолжительность фиксаций на области интереса	0.54 ± 0.16	0.31 ± 0.14	94	0.007
	средняя амплитуда саккад на области интереса	5.60 ± 0.87	3.97 ± 0.46	80	< 0.001
	соотношение площади области интереса к площади стимула	0.93 ± 0	0.88 ± 0.047	96	0.002
	число возвратов в область интереса	2.44 ± 1.66	3.5 ± 5.07	43	0.026

по крайней мере, мы можем говорить о специфичной стратегии зрительно-пространственной обработки информации [15–16; 26–27].

У детей с нарушением слуха наблюдается специфика визуального поиска. Как и в предыдущих исследованиях, можно предположить, что детям с нарушением слуха более характерна не последовательная, а параллельная обработка зрительной информации, в связи с чем у них расширяется область поиска и границы области интереса сдвигаются на периферию (также мы дополняем, что им характерна стратегия “снизу вверх”). Нами зафиксировано, что отличия стратегии визуального поиска проявляются в количестве переключений и повторных просмотров, амплитуде саккад, паттернов и последовательности переходов взора между областями интереса.

У детей с нарушением слуха и типично развивающихся детей также различается процесс отбора информационных признаков: отличается последовательность и количество фиксаций, зоны опознавания, отмечены различия в стратегии восприятия

сверху–вниз или снизу–вверх (по движению глаз можно прийти к выводу, что у детей с нарушением слуха захватывает внимание сам стимул и его характеристики, у типично развивающихся детей – целенаправленный поиск). У типично развивающихся детей наблюдается более упорядоченный поиск при опознавании изображений (слева–направо, сверху–вниз), у детей с нарушением слуха – хаотичный поиск с менее выраженными зонами интереса, непоследовательный, они часто изменяют стратегию, особенно при затруднениях. У типично развивающихся детей – последовательное, постепенное изучение “сверху вниз” иллюстраций с выраженными зонами интереса. У типично развивающихся детей – фиксации более целевые, их меньше, они не распределены, а сконцентрированы. Меняется и последовательность опознавания.

По тепловым картам и графикам движения глаз зафиксировано, что у детей с нарушением слуха меняется пространственное распределение зрительного внимания (как в данных *D. Bavelier* и др. [10]). Как и в предыдущих исследованиях (например,

Q. Chen и др. [14], A.M. Tharpe и др. [36]), подтверждается, что у детей с нарушением слуха пространственное внимание распределено в более широком диапазоне. Нами зафиксировано, что у детей с нарушением слуха отличается пространственное распределение внимания: отличается последовательность посещенных областей при опознавании изображений; отличия проявляются в динамике оперативного поля (какие выделяют зоны интереса и где происходит поиск для опознавания предметов на изображении). Зоны интереса больше захватывают периферические и нецелевые зоны. Изменения фиксируются в длительности пути сканирования изображений, пространственном распределении плотности фиксаций (увеличивается), регулярности (повторные пересмотры и возвраты), направленности и последовательности (стратегии поиска) движения глаз. У детей с нарушением слуха зоны интереса нечеткие и доля зоны интереса к самому стимулу выше. У детей с нарушением слуха наблюдаются частые отвлечения и соскальзывания внимания. Это подтверждается количественными данными в изменениях соотношении площади области интереса к площади стимула и амплитуды саккад.

Так как выбранные нами задания связаны непосредственно с осуществлением мыслительных операций (анализа, синтеза, обобщения и других), то по характеру перцептивных действий, фиксируемых айтрекером, и на основе карт и графиков движения взгляда детей с нарушением слуха можно выявить паттерн движения взгляда при решении мыслительной задачи. Так, у детей с нарушением слуха по-иному идет последовательность и направление отбора информации, их стратегия восприятия позволяет проанализировать характер когнитивной деятельности детей с нарушением слуха.

Мы можем предположить, что отбор информационных признаков и ориентировочная деятельность у детей с нарушением слуха отличается. Перцептивные действия у детей с нарушением слуха обладают меньшей свернутостью, фиксации происходят в нерелевантных областях, сама зона поиска перемещается на периферию, и ее границы размыты, больше возвратов в просмотренную область, паттерн движения глаз хаотичный, и изменяется амплитуда саккад. По последовательности и маршруту движения глаз мы видим, что им характерен выборочный просмотр элементов иллюстраций с фиксациями на наиболее привлекательных участках, а не существенных признаках, что говорит о нецелевом поиске информационных признаков. Паттерн движения глаз меньше соответствует поиску изображения. Отличаются сама стратегия прослеживания и маршруты сканирования изображений.

Детям с нарушением слуха требуется большая детализация (увеличивается длина пути сканирования, количество повторных просмотров и возвратов, амплитуда саккад). Дети с нарушением слуха чаще делают пересмотр, число повторных посещений предоставляет, сколько раз ребенок возвращал свой взгляд к определенному месту, определенной зоне интереса, а какие были видны, но затем были удалены. Причем пересмотр никак не связан с эффективностью, а скорее отображает хаотичный поиск.

Также можем предположить по характеру фиксаций и стратегии движения глаз, что при решении мыслительных задач у детей с нарушением слуха, стратегии обработки зрительной информации будут сказываться на: глубине, интенсивности обработки информации (по времени фиксаций), заметности элементов и точки фокуса внимания, ментальной нагрузке (насколько трудно или легко находить тот или иной элемент), отвлечениях (фиксируется в изменениях времени до первой фиксации и общего времени просмотра).

## ВЫВОДЫ

При помощи айтрекинга нами зафиксированы специфически особенности обработки зрительной информации у детей с нарушением слуха при решении мыслительных задач в процессе обучения.

Можно прийти к выводу, что ранняя слуховая депривация сказывается на стратегиях визуального поиска (увеличение количества переключений, повторных просмотров, паттернов и последовательности переходов между областями), пространственном распределении внимания (более широкий диапазон, смещение на периферию, соотношение площади области интереса к площади стимула, амплитуда саккад), последовательности обработки зрительной информации и динамики поля интереса, повторяемости и направлении сканирования изображений. Детям с нарушением слуха более характерна стратегия “снизу—вверх” и хаотичность поиска информационных признаков.

Выделенные нами особенности обработки зрительной информации раскрывают особенности когнитивных действий по поиску и отбору существенных для решения задач. Изменения последовательности обработки информации и распределения зрительного внимания будут сказываться в процессе обучения, а именно в перцептивных действиях ребенка, направленных на зрительное обнаружение, опознавание, различение или идентификацию информационных признаков, необходимых для дальнейшего осуществления мыслительных операций.

Отсутствие понимания роли зрительного внимания и обработки зрительной информации при обучении детей с нарушением слуха в практике сказывается на выборе неэффективных методов обучения детей с нарушением слуха, в том числе после кохлеарной имплантации. С практической точки зрения тонкие различия в когнитивных, метакогнитивных способностях сенсорной обработки между глухими и слышащими учащимися таковы, что им могут потребоваться разные методы обучения и материалы, чтобы получить оптимальную пользу в учебном процессе. Наши данные о специфике обработки зрительной информации в процессе обучения детей с нарушением слуха помогут определить новые направления образовательных и терапевтических программ, а также внести вклад в усовершенствование технологии имплантации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аносова Л.В., Крылова О.В., Шашукова Е.А., Левин С.В.* Динамика психического развития детей с сенсоневральной тугоухостью 4-й степени после кохлеарной имплантации на фоне нейропротекторной терапии // *Российская оториноларингология*. 2015. № 2(75). С. 13–17.
2. *Ахутина Т.В., Пылаева Н.М.* Диагностика зрительно-вербальных функций у детей 5–7 лет // *Школьный психолог*. 2001. № 15(87). С. 36–43.
3. *Донская Н.Ю., Линикова Н.И.* Букварь для школ слабослышащих. М.: Просвещение, 1992.
4. *Павлова Н.Н., Руденко Л.Г.* Экспресс-диагностика в детском саду: Комплект материалов для педагогов-психологов детских дошкольных образовательных учреждений. М.: Генезис, 2008.
5. *Семаго Н.Я., Семаго М.М.* Диагностический альбом для исследования особенностей познавательной деятельности: дошкольный и младший школьный возраст. М.: АРКТИ, 2022.
6. *Скуратова К.А., Шелепин Е.Ю., Шелепин К.Ю.* Программные возможности применения метода айтрекинга в исследованиях зрительного восприятия // *Российский психологический журнал*. 2022. № 19(4). С. 173–185.
7. *Bavelier D., Brozinsky C., Tomann A., Mitchell T., Neville H., Liu G.* Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing // *The Journal of Neuroscience*. 2001. V. 21(22). P. 8931–8942.
8. *Bavelier D., Dye M.W., Hauser P.C.* Do deaf individuals see better? // *Trends in Cognitive Sciences*. 2006. V. 10(11). P. 512–518.
9. *Bavelier D., Hirshorn E.A.* I see where you're hearing: How cross-modal plasticity may exploit homologous brain structures // *Nature Neuroscience*. 2010. V. 13(11). P. 1309–1311.
10. *Bavelier D., Neville H.J.* Cross-modal plasticity: Where and how? // *Nature Reviews Neuroscience*. 2002. V. 3. P. 443–452.
11. *Bharadwaj S.V., Mehta J.A.* An exploratory study of visual sequential processing in children with cochlear implants // *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2016. V. 85. P. 158–165.
12. *Bottari D., Heimler B., Caclin A., Dalmolin A., Giard M.H., Pavani F.* Visual change detection recruits auditory cortices in early deafness // *Neuroimage*. 2014. V. 1(94). P. 172–184.
13. *Cattaneo Z., Lega C., Cecchetto C., Papagno C.* Auditory deprivation affects biases of visuospatial attention as measured by line bisection // *Experimental Brain Research*. 2014. V. 232(9). P. 2767–2773.
14. *Chen Q., He G., Chen K., Jin Z., Mo L.* Altered spatial distribution of visual attention in near and far space after early deafness // *Neuropsychologia*. 2010. V. 48(9). P. 2693–2698.
15. *Conway C., Pisoni D., Kronenberger W.* The importance of sound for cognitive sequencing abilities: the auditory scaffolding hypothesis // *Current Directions in Psychological Science*. 2009. V. 18. P. 275–279.
16. *Conway C.M., Karpicke J., Anaya E.M., Henning S.C., Kronenberger W.G., Pisoni D.B.* Nonverbal cognition in deaf children following cochlear implantation: Motor sequencing disturbances mediate language delays // *Developmental Neuropsychology*. 2011. V. 36. P. 237–254.
17. *Dawson P., Busby P., McKay C., Clark G.* Short-term auditory memory in children using cochlear implants and its relevance to receptive language // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2002. V. 45. P. 789–801.
18. *Daza M.T., Phillips-Silver J.* Development of attention networks in deaf children: Support for the integrative hypothesis // *Research in Developmental Disabilities*. 2013. V. 34(9). P. 2661–2668.
19. *Dowaliby F., Lang H.* Adjunct aids in instructional prose: A multimedia study with deaf college students // *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 1999. № 4. P. 270–282.
20. *Dye M.W., Bavelier D.* Attentional enhancements and deficits in deaf populations: an integrative review // *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2010. V. 28(2). P. 181–192.
21. *Fagan M.K., Pisoni D.B., Horn D.L., Dillon C.M.* Neuropsychological correlates of vocabulary, reading, and working memory in deaf children with cochlear implants // *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2007. V. 12(4). P. 461–471.
22. *Heming J.E., Brown L.N.* Sensory temporal processing in adults with early hearing loss // *Brain and Cognition*. 2005. V. 59(2). P. 173–182.
23. *Iversen J.R., Patel A.D., Nicodemus B., Emmorey K.* Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals // *Cognition*. 2015. V. 134. P. 232–244.

24. Jarodzka H., Holmqvist K., Grube H. Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas // *Journal of Eye Movement Research*. 2017. V. 10(1). P. 1–18.
25. Kyle F.E., Harris M. Longitudinal patterns of emerging literacy in beginning deaf and hearing readers // *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2011. V. 16(3). P. 289–304.
26. Levänen S., Jousmäki V., Hari R. Vibration-induced auditory-cortex activation in a congenitally deaf adult // *Current Biology*. 1998. V. 8(15). P. 869–872.
27. Marschark M., Edwards L., Peterson C., Crowe K., Walton D. Understanding theory of mind in deaf and hearing college students // *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2019. V. 24(2). P. 104–118.
28. Marschark M., Spencer L.J., Durki A., Borgna G., Conventino C., Machmer E., Kronenberger W.G., Trani A. Understanding language, hearing status, and visual-spatial skills // *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2015. V. 20(4). P. 310–330.
29. Monroy C., Chen C.H., Houston D., Yu C. Action prediction during real-time parent-infant interactions // *Developmental science*. 2021. V. 24(3). Art. e13042.
30. Pisoni D., Cleary M. Measures of working memory span and verbal rehearsal speed in deaf children after cochlear implantation // *Ear and Hearing*. 2003. V. 24. P. 106–120.
31. Quittner A.L., Leibach P, Marciel K. The impact of cochlear implants on young deaf children: New methods to assess cognitive and behavioral development // *Archives of Otolaryngology — Head & Neck Surgery*. 2004. V. 130(5). P. 547–554.
32. Sarant J.Z., Harris D.C., Benneta L.A. Academic outcomes for school-aged children with severe–profound hearing loss and early unilateral and bilateral cochlear implants // *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2015. V. 58(3). P. 1017–1032.
33. Seymour J.L., Low K.A., Maclin E.L., Chiarelli A.M., Mathewson K.E., Fabiani M., Gratton G., Dye M.W.G. Reorganization of neural systems mediating peripheral visual selective attention in the deaf: An optical imaging study // *Hearing Research*. 2017. V. 343. P. 162–175.
34. Soto-Rey J., Pérez-Tejero J., Rojo-González J.J., Reina R. Study of reaction time to visual stimuli in athletes with and without a hearing impairment // *Perceptual and Motor Skills*. 2014. V. 119(1). P. 123–132.
35. Stevens C., Neville H. Neuroplasticity as a double-edged sword: Deaf enhancements and dyslexic deficits in motion processing // *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2006. V. 18(5). P. 701–714.
36. Thakur R., Jayakumar J., Pant S. Visual perception and attentional skills in school-age children: A cross-sectional study of reading proficiency in the hearing impaired // *Indian Journal of Community Medicine*. 2023. V. 4. P. 544–549.
37. Tharpe A.M., Ashmead D., Sladen D.P., Ryan H.A., Rothpletz A.M. Visual attention and hearing loss: Past and current perspectives // *Journal of the American Academy of Audiology*. 2008. V. 19. P. 741–747.
38. Voss P., Tabry V., Zatorre R.J. Trade-off in the sound localization abilities of early blind individuals between the horizontal and vertical planes // *The Journal of Neuroscience*. 2015. V. 35(15). P. 6051–6056.
39. Yurkovic-Harding J., Lisandrelli G., Shaffe R.C., Dominick K.C., Pedapati E. Erickson V., Yu C.A.C., Kennedy D. Children with ASD establish joint attention during free-flowing toy play without face looks // *Current Biology*. 2022. V. 32(12). P. 2739–2746.

## SPECIFICS OF VISUAL INFORMATION PROCESSING IN CHILDREN WITH HEARING IMPAIRMENT IN A LEARNING SITUATION: EYE TRACKING RESEARCH<sup>2</sup>

Ya. K. Smirnova<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Altai State University;  
656049, Barnaul, Lenin Ave., 61, Russia.*

\**Candidate of Sciences (Psychology), Associate Professor of the Department of General and Applied Psychology.  
E-mail: yana.smirnova@mail.ru*

Received 23.05.2024

*Abstract.* The article examines the problem of the consequences of early auditory deprivation, which leads to neural and cognitive reorganization of visual information processing. The aim of the study was to use an eye tracker to identify the specifics of visual processing that occurs as a result of auditory deprivation in early life. The main task was to determine the strategies of eye movement patterns in the process of perception of visualizations of educational materials while solving mental tasks using an eye-tracking device, which would reveal a number of features of visual processing in children with hearing impairments. A comparative analysis

was carried out between typically developing children and children with cochlear implants aged 5–7 years. To determine features of visual perception, we used visual representations of educational material to bring experimental conditions closer to natural learning situations. In order to trace the specifics of visual information processing in a learning situation, we used classical tasks for excluding objects, simple non-verbal analogies, recognizing objects in illustrations, and analyzed the features of oculomotor activity during the perception of stimuli by children. Eye movement tracking was carried out using a stationary GP3 eye tracker. Using scanning methods and analyzing the fixation sequence, differences in visual information processing between children with hearing impairments and those without were revealed. Changes in search strategies (an increase in switching, repeated views, patterns, and sequences of transitions between areas) were recorded, as well as changes in spatial distribution of attention, sequence of visual processing, dynamics of the field of interest, and repeatability and directionality of scanning images. Children with hearing impairment are characterized by a bottom-up strategy and chaotic search for information features. Changes in the sequence of information processing and distribution of visual attention affect the learning process in perceptual actions aimed at visual detection, recognition, discrimination, or identification of information necessary for mental operations.

*Keywords:* preschool age, visual gnosis, visual attention, auditory deprivation, atypical development, hearing impairment, cochlear implantation, oculography, eye tracking.

## REFERENCES

1. *Anosova L.V., Krylova O.V., Shashukova E.A., Levin S.V.* Dinamika psikhicheskogo razvitiya detei s senseveral'noi tugoukhost'yu 4-i stepeni posle kokhlearnoi implantatsii na fone neiroprotektornoj terapii. Rossiiskaya otorinolaringologiya. 2015. № 2(75). P. 13–17. (In Russian)
2. *Akhutina T.V., Pylaeva N.M.* Diagnostika zritel'no-verbal'nykh funktsii u detei 5–7 let. Shkol'nyi psikholog. 2001. № 15(87). P. 36–43. (In Russian)
3. *Donskaya N.Yu., Linikova N.I.* Bukvar' dlya shkol slaboslyshashchikh. Moscow: Prosveshchenie, 1992. (In Russian)
4. *Pavlova N.N., Rudenko L.G.* Ekspress-diagnostika v det'skom sadu: Komplekt materialov dlya pedagogov-psikhologov detskikh doshkol'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdenii. Moscow: Genезis, 2008. (In Russian)
5. *Semago N.Ya., Semago M.M.* Diagnosticheskii al'bom dlya issledovaniya osobennosti poznavatel'noi deyatelnosti: doshkol'nyi i mladshii shkol'nyi vozrast. Moscow: ARKTI, 2022. (In Russian)
6. *Skuratova K.A., Shelepin E.Yu., Shelepin K.Yu.* Programnye vozmozhnosti primeneniya metoda aitrekinga v issledovaniyakh zritel'nogo vospriyatiya. Rossiiskii psikhologicheskii zhurnal. 2022. № 19(4). P. 173–185. (In Russian)
7. *Bavelier D., Brozinsky C., Tomann A., Mitchell T., Neville H., Liu G.* Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. The Journal of Neuroscience. 2001. V. 21(22). P. 8931–8942.
8. *Bavelier D., Dye M.W., Hauser P.C.* Do deaf individuals see better? Trends in Cognitive Sciences. 2006. V. 10(11). P. 512–518.
9. *Bavelier D., Hirshorn E.A.* I see where you're hearing: How cross-modal plasticity may exploit homologous brain structures. Nature Neuroscience. 2010. V. 13(11). P. 1309–1311.
10. *Bavelier D., Neville H.J.* Cross-modal plasticity: Where and how? Nature Reviews Neuroscience. 2002. V. 3. P. 443–452.
11. *Bharadwaj S.V., Mehta J.A.* An exploratory study of visual sequential processing in children with cochlear implants. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology. 2016. V. 85. P. 158–165.
12. *Bottari D., Heimler B., Caclin A., Dalmolin A., Giard M.H., Pavani F.* Visual change detection recruits auditory cortices in early deafness. Neuroimage. 2014. V. 1(94). P. 172–184.
13. *Cattaneo Z., Lega C., Cecchetto C., Papagno C.* Auditory deprivation affects biases of visuospatial attention as measured by line bisection. Experimental Brain Research. 2014. V. 232(9). P. 2767–2773.
14. *Chen Q., He G., Chen K., Jin Z., Mo L.* Altered spatial distribution of visual attention in near and far space after early deafness. Neuropsychologia. 2010. V. 48(9). P. 2693–2698.
15. *Conway C., Pisoni D., Kronenberger W.* The Importance of sound for cognitive sequencing abilities: The auditory scaffolding hypothesis. Current Directions in Psychological Science. 2009. V. 18. P. 275–279.
16. *Conway C.M., Karpicke J., Anaya E.M., Henning S.C., Kronenberger W.G., Pison D.B.* Nonverbal cognition in deaf children following cochlear implantation: Motor sequencing disturbances mediate language delays. Developmental Neuropsychology. 2011. V. 36. P. 237–254.
17. *Dawson P., Busby P., McKay C., Clark G.* Short-term auditory memory in children using cochlear implants and its relevance to receptive language. Journal of Speech, Language, and Hearing Research. 2002. V. 45. P. 789–801.
18. *Daza M.T., Phillips-Silver J.* Development of attention networks in deaf children: Support for the integrative

<sup>2</sup>The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation grant 24-28-20061 “Eye tracking study of learning difficulties related to visual attention in children with hearing impairment.”

- hypothesis. *Research in Developmental Disabilities*. 2013. V. 34(9). P. 2661–2668.
19. *Dowaliby F., Lang H.* Adjunct aids in instructional prose: A multimedia study with deaf college students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 1999. № 4. P. 270–282.
  20. *Dye M.W., Bavelier D.* Attentional enhancements and deficits in deaf populations: An integrative review. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2010. V. 28(2). P. 181–192.
  21. *Fagan M.K., Pisoni D.B., Horn D.L., Dillon C.M.* Neuropsychological correlates of vocabulary, reading, and working memory in deaf children with cochlear implants. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2007. V. 12(4). P. 461–471.
  22. *Heming J.E., Brown L.N.* Sensory temporal processing in adults with early hearing loss. *Brain and Cognition*. 2005. V. 59(2). P. 173–182.
  23. *Iversen J.R., Patel A.D., Nicodemus B., Emmorey K.* Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals. *Cognition*. 2015. V. 134. P. 232–244.
  24. *Jarodzka H., Holmqvist K., Grube H.* Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas. *Journal of Eye Movement Research*. 2017. V. 10(1). P. 1–18.
  25. *Kyle F.E., Harris M.* Longitudinal patterns of emerging literacy in beginning deaf and hearing readers. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2011. V. 16(3). P. 289–304.
  26. *Levänen S., Jousmäki V., Hari R.* Vibration-induced auditory-cortex activation in a congenitally deaf adult. *Current Biology*. 1998. V. 8(15). P. 869–872.
  27. *Marschark M., Edwards L., Peterson C., Crowe K., Walton D.* Understanding theory of mind in deaf and hearing college students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2019. V. 24(2). P. 104–118.
  28. *Marschark M., Spencer L.J., Durki A., Borgna G., Convertino C., Machmer E., Kronenberger W.G., Trani A.* Understanding language, hearing status, and visual-spatial skills. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*. 2015. V. 20(4). P. 310–330.
  29. *Monroy C., Chen C.H., Houston D., Yu C.* Action prediction during real-time parent-infant interactions. *Developmental science*. 2021. V. 24(3). Art. e13042.
  30. *Pisoni D., Cleary M.* Measures of working memory span and verbal rehearsal speed in deaf children after cochlear implantation. *Ear and Hearing*. 2003. V. 24. P. 106–120.
  31. *Quittner A.L., Leibach P., Marciel K.* The impact of cochlear implants on young deaf children: New methods to assess cognitive and behavioral development. *Archives of Otolaryngology — Head & Neck Surgery*. 2004. V. 130(5). P. 547–554.
  32. *Sarant J.Z., Harris D.C., Benneta L.A.* Academic outcomes for school-aged children with severe–profound hearing loss and early unilateral and bilateral cochlear implants. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*. 2015. V. 58(3). P. 1017–1032.
  33. *Seymour J.L., Low K.A., Maclin E.L., Chiarelli A.M., Mathewson K.E., Fabiani M., Gratton G., Dye M.W.G.* Reorganization of neural systems mediating peripheral visual selective attention in the deaf: An optical imaging study. *Hearing Research*. 2017. V. 343. P. 162–175.
  34. *Soto-Rey J., Pérez-Tejero J., Rojo-González J.J., Reina R.* Study of reaction time to visual stimuli in athletes with and without a hearing impairment. *Perceptual and Motor Skills*. 2014. V. 119(1). P. 123–132.
  35. *Stevens C., Neville H.* Neuroplasticity as a double-edged sword: Deaf enhancements and dyslexic deficits in motion processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 2006. V. 18(5). P. 701–714.
  36. *Thakur R., Jayakumar J., Pant S.* Visual perception and attentional skills in school-age children: A cross-sectional study of reading proficiency in the hearing impaired. *Indian Journal of Community Medicine*. 2023. V. 4. P. 544–549.
  37. *Tharpe A.M., Ashmead D., Sladen D.P., Ryan H.A., Rothpletz A.M.* Visual attention and hearing loss: past and current perspectives. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2008. V. 19. P. 741–747.
  38. *Voss P., Tabry V., Zatorre R.J.* Trade-off in the sound localization abilities of early blind individuals between the horizontal and vertical planes. *The Journal of Neuroscience*. 2015. V. 35(15). P. 6051–6056.
  39. *Yurkovic-Harding J., Lisandrelli G., Shaffe R.C., Dominick K.C., Pedapati E., Erickson V., Yu C.A.C., Kennedy D.* Children with ASD establish joint attention during free-flowing toy play without face looks. *Current Biology*. 2022. V. 32(12). P. 2739–2746.