

DOI: 10.25629/НС.2026.10.24

УДК: 159.922.6

ВАК: 5.3.7. Возрастная психология

Никифорова Кристина Андреевна, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, ORCID: 0009-0000-4302-4406, kkrisinger1990@gmail.com

Репников Тимофей Павлович, Университет «Сириус», ORCID: 0009-0001-6964-204X

Демарева Валерия Алексеевна, кандидат психологических наук, доцент, Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, ORCID: 0000-0002-3228-9289

СТРАТЕГИИ ЗРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ МЫШЛЕНИЕМ, У ОБУЧАЮЩИХСЯ 15–19 ЛЕТ

Аннотация

Предмет исследования – процессуальная организация решения задач, связанных с вычислительным мышлением, у обучающихся 15–19 лет. Цель – выявить особенности зрительного контроля и его сопряжения с действиями при выполнении задач разной структуры. В исследовании участвовали 63 первокурсника IT-колледжа ($M = 16,7$; $SD \approx 0,9$). Использована батарея ST-Gaze из четырех заданий: отладка «Ханойской башни», поиск отличий, навигация в лабиринте и сортировка пузырьком. Движения глаз регистрировались с помощью WebGazer; анализировались фиксации, саккады, траектории взгляда и курсора, возвраты и типы ошибок. Установлено, что организация зрительного контроля зависит от структуры задачи. Взгляд опережал курсор на 75–200 мс, а целевая область при поиске отличий фиксировалась за 3,4 с до клика. В лабиринте преобладала текущая проверка с повторным просмотром пройденного маршрута; 60 из 63 участников следовали одной последовательности зон. При поиске отличий 64 % чисто отслеженных пропусков были связаны с нераспознаванием уже зафиксированного изменения. Результаты показывают, что анализ зрительного контроля позволяет разделять поиск, распознавание, проверку и действие и дополняет результативное описание вычислительного мышления процессуальным уровнем.

Ключевые слова

вычислительное мышление, когнитивное развитие, решение задач, зрительный контроль, стратегии решения, айтрекинг, подростковый возраст, ранняя юность

Nikiforova K.A., National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, ORCID: 0009-0000-4302-4406, kkrisinger1990@gmail.com

Repnikov T.P., Sirius University, ORCID: 0009-0001-6964-204X

Demareva V.A., Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, ORCID: 0000-0002-3228-9289

VISUAL CONTROL STRATEGIES IN SOLVING TASKS RELATED TO COMPUTATIONAL THINKING IN LEARNERS AGED 15–19

Abstract

The subject of the study is the procedural organization of solving tasks related to computational thinking in learners aged 15–19. The aim is to identify the features of visual control and its coupling with actions when performing tasks of different structures. The study involved 63 first-year students of an IT college ($M = 16.7$; $SD \approx 0.9$). A CT-Gaze battery comprising four tasks was used: Tower of Hanoi debugging, spot-the-difference, maze navigation, and bubble sort. Eye movements were recorded using WebGazer; fixations, saccades, gaze and cursor trajectories, returns, and error types were analyzed. It was established that the organization of visual control depends on the structure of the task. Gaze preceded the cursor by 75–200 ms, and in the spot-the-difference task the target area was fixated 3.4 s before the click. In the maze task, ongoing verification with repeated inspection of the traversed route prevailed; 60 of 63 participants followed the same sequence of zones. In the spot-the-difference task, 64% of omissions identified solely through eye tracking were associated with a failure to recognize an already fixated change. The results show that the analysis of visual control makes it possible to differentiate search, recognition, verification, and action and supplements the outcome-based description of computational thinking with a procedural level.

Keywords

computational thinking, cognitive development, problem solving, visual control, solution strategies, eye tracking, adolescence, early adulthood

Введение

Переход от старшего подросткового возраста к ранней юности заметно меняет характер учебной и познавательной деятельности. От обучающегося все чаще требуется самостоятельно планировать действия, удерживать последовательность решения, замечать ошибки и проверять промежуточный результат. В отечественной возрастной психологии развитие высших психических функций традиционно связывается с освоением новых способов организации деятельности и культурных средств (Выготский, 1982). В теории П.Я. Гальперина важен не только итог действия, но и то, как оно строится: как человек ориентируется в задаче, выполняет отдельные операции и контролирует результат (Гальперин, 1985). Поэтому при изучении интеллектуальной деятельности в этом возрасте имеет смысл смотреть не только на правильность ответа, но и на сам ход решения.

Одним из современных видов сложной интеллектуальной деятельности является решение задач, связанных с вычислительным мышлением. Обычно к его основным составляющим относят декомпозицию, абстрагирование, выявление закономерностей, построение алгоритма и оценку решения (Brennan & Resnick, 2012; Grover & Pea, 2013; Wing, 2006). В отечественной

литературе вычислительное мышление также рассматривается шире, чем владение конкретным языком программирования, – как совокупность способов анализа и решения задач (Хеннер, 2016). По мере усложнения таких задач все большую роль играют планирование, удержание последовательности действий, проверка промежуточных результатов и своевременное обнаружение ошибок.

Возраст 15–19 лет охватывает переход от старшего подросткового возраста к ранней юности. В это время развитие когнитивного контроля еще продолжается: показатели исполнительных функций постепенно приближаются к взрослому уровню (Tervo-Clemmens et al., 2023). Совершенствуется и метакогнитивный мониторинг – способность оценивать собственное решение и замечать ошибки (Santesso & Segalowitz, 2008; Weil et al., 2013). Поэтому особенно интересно наблюдать не только за тем, справился ли участник с заданием, но и за тем, как он ищет нужную информацию, возвращается ли к уже просмотренным элементам, когда принимает решение и что происходит перед ошибочным ответом.

Большинство инструментов для оценки вычислительного мышления дают прежде всего итоговый показатель: число правильных ответов, балл теста или самооценку компетентности (Grover & Pea, 2013; Tang et al., 2020). Для оценки результата этого достаточно, но сам способ решения остается скрытым. Два человека могут получить одинаковый балл, хотя один заранее планирует последовательность действий, а другой движется небольшими шагами и постоянно проверяет себя. Даже одинаковая ошибка может иметь разную природу: человек либо не посмотрел на важный элемент, либо посмотрел, но не распознал его значение.

Айтрекинг позволяет увидеть часть этого процесса. Положение взгляда дает информацию о том, на какие элементы задачи в данный момент направлено зрительное внимание (Just & Carpenter, 1980), а характеристики фиксаций и саккад давно используются при изучении чтения, визуального поиска и решения задач (Rayner, 1998). В исследованиях программирования и вычислительного мышления движения глаз анализируют, чтобы понять, на какие элементы обращают внимание учащиеся и как они работают с кодом или визуальными представлениями (Aljehane et al., 2023; Arslanyilmaz & Sullins, 2023; Ke et al., 2021). В данной работе айтрекинг используется именно в этом качестве – как способ проследить организацию решения, а не как самостоятельный показатель эффективности.

В центре настоящего исследования находится ход решения задач у обучающихся 15–19 лет: куда направляется взгляд, как он соотносится с действием, когда участник возвращается к уже просмотренной информации и на каком этапе возникают пропуски. Такой ракурс позволяет описать зрительный контроль непосредственно в процессе выполнения заданий и не сводить анализ только к конечному баллу.

Цель исследования – выявить особенности зрительного контроля при решении задач, связанных с вычислительным мышлением, у обучающихся 15–19 лет. Нас интересовали четыре вопроса: меняется ли организация взгляда в зависимости от структуры задания; что происходит раньше – зрительная фиксация или действие; как организована проверка при последовательном решении; можно ли по данным взгляда различить ошибки поиска и ошибки распознавания.

Мы предполагали, что характер зрительного контроля будет зависеть от структуры задания и проявится в особенностях поиска, повторных проверок и временного соотношения взгляда и действия. Кроме того, ожидалось, что внешне одинаковый пропуск значимого элемента может возникать по разным причинам: в одном случае участник вообще не посмотрит на нужную область, в другом – зафиксирует ее взглядом, но не распознает изменение.

Под стратегией решения в этой работе понимается наблюдаемая последовательность ориентировки, проверки и действия в конкретной задаче. Речь не идет об устойчивом личностном стиле или общем уровне способностей. Нас интересует более узкий вопрос: что делает участник во время выполнения задания и что из этого можно увидеть по сочетанию движений глаз, курсора и зарегистрированных событий. Поскольку в исследовании нет сравнительной группы, глазодвигательные показатели рассматриваются только как характеристики процесса решения в данной выборке.

Такое различие важно именно для сложных задач. Правильный ответ ничего не говорит о том, каким путем он был получен. Участник может быстро выделить релевантную информацию и действовать последовательно, а может многократно возвращаться к одним и тем же элементам и только после этого принять решение. Данные о взгляде позволяют увидеть, достиг ли участник значимого элемента, сколько раз возвращался к уже просмотренным областям и предшествовала ли зрительная ориентировка действию. При этом фиксация сама по себе не означает понимания: человек может смотреть на объект, но не распознать его значение для решения (Just & Carpenter, 1980; O'Regan et al., 2000; Smith et al., 2012).

Для возрастной психологии такой анализ интересен тем, что позволяет описывать не только достигнутый результат, но и текущую организацию интеллектуального действия. В 15–19 лет продолжается развитие механизмов контроля и мониторинга ошибок (Santesso & Segalowitz, 2008; Tervo-Clemmens et al., 2023; Weil et al., 2013). Наш дизайн не позволяет проследить их возрастную динамику, поскольку отдельные возрастные группы не сравнивались. Поэтому возраст в этой работе задает границы исследуемой выборки, а выводы относятся к тому, как организовано решение задач у обучающихся данного периода.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 63 первокурсника ИТ-колледжа «Сириус» в возрасте 15–19 лет ($M = 16,7$; $SD \approx 0,9$; модальный возраст 16–17 лет). Таким образом, выборка относится к периоду перехода от старшего подросткового возраста к ранней юности. Все участники обучались на первом курсе. Участие было добровольным; участники могли прекратить выполнение заданий в любой момент. Персональные данные в экспериментальном файле не сохранялись. Из 63 сессий 61 дала пригодные для анализа данные о взгляде; качество данных различалось по отдельным заданиям вследствие особенностей калибровки веб-камерного трекинга.

Регистрация выполнялась с помощью батареи CT-Gaze — браузерного приложения, объединяющего задания с WebGazer. После калибровки участники последовательно выполняли четыре задания. Порядок заданий был фиксированным. Для каждого задания сохранялись поведенческие показатели, поток координат взгляда и курсора, временные метки и события взаимодействия.

В таблице 1 приведена характеристика заданий.

Таблица 1 — Задания батареи CT-Gaze и анализируемые процессуальные характеристики

Задание	Основное требование	Анализируемая процессуальная характеристика
«Ханойская башня»	Выявление неверных ходов в частично выполненном решении	Сосредоточенность просмотра перед верным и неверным действием
«Найди отличия»	Поиск изменений в пяти парах изображений	Зрительный поиск, фиксация цели, распознавание, латентность до клика
«Лабиринт»	Навигация СТАРТ → КЛЮЧ → ВЫХОД	Опережающий просмотр, возвраты, последовательность зон, текущая проверка
«Сортировка пузырьков»	Пошаговая ручная сортировка последовательности	Сопряжение взгляда и действия, следование алгоритмической последовательности

В «Ханойской башне» результат оценивался от 0 до 5 баллов. В задании «Найди отличия» участник мог обнаружить до 27 отличий. В лабиринте регистрировались полная траектория

курсора, повторные обращения и положение взгляда относительно текущего участка маршрута. В задаче сортировки оценивались алгоритмическая точность и число завершенных уровней. Для анализа движений глаз рассчитывались фиксации, саккады, длина траектории просмотра, отношение горизонтальных и вертикальных саккад, частота возвратов и временное сопряжение взгляда с действиями.

Пространственно чувствительные анализы фильтровались с учетом качества калибровки. При интерпретации учитывалась ограниченная пространственная точность браузерного айтрекинга. Поэтому выводы строились преимущественно на крупных пространственных паттернах, временном сопряжении взгляда и действия и устойчивых различиях между типами задач, а не на тонкой локализации внутри небольших областей.

Анализ проводился поэтапно. Сначала мы сравнили, насколько различается результативность в четырех заданиях. Затем проверили, насколько устойчивы индивидуальные показатели длительности фиксаций в разных задачах и связаны ли глазодвигательные показатели с успешностью выполнения. После этого анализировали направление саккад и его соответствие пространственной организации задания. Там, где это позволяла структура задачи, взгляд сопоставлялся непосредственно с действием: оценивались его опережение относительно курсора, время между фиксацией цели и кликом, повторные просмотры и последовательность переходов между крупными зонами интереса.

Отдельно рассматривались пропуски в задании «Найди отличия». Если участник не фиксировал взглядом область, где находилось реальное отличие, такой случай относили к ошибке поиска. Если взгляд попадал в эту область, но участник не отмечал отличие, пропуск рассматривали как ошибку распознавания. Такое разделение, конечно, не дает прямого доступа к внутреннему мыслительному процессу. Однако оно позволяет увидеть, что один и тот же итог – пропущенная цель – может возникать на разных этапах работы с информацией.

Результаты и их обсуждение

Четыре задания заметно различались по характеру выполнения. В «Ханойской башне» результаты распределились по всей шкале от 0 до 5 баллов ($M = 2,4$; $SD = 1,2$). В задании «Найди отличия» результаты, напротив, были близки к верхней границе: средний результат составил 23,2 из 27, а 31 из 63 участников нашли не менее 25 отличий. Различался и разброс результатов: отношение дисперсий составило 4,08, критерий Левена $W = 19,9$, $p < 0,001$. Иными словами, задания предъявляли разные требования и по-разному выявляли индивидуальные различия внутри выборки.

Различалась и сама организация взгляда. В «Найди отличия» горизонтальных саккад было почти вдвое больше, чем вертикальных: медианное отношение составило 1,9. Это соответствует постоянному сравнению двух изображений, расположенных рядом. В лабиринте, напротив, показатель составлял 0,6, что согласуется с преимущественно вертикальным направлением коридоров. Для «Ханойской башни» отношение было близко к 1,0, для сортировки – 0,8. Таким образом, движения глаз в значительной степени следовали пространственной логике конкретного задания.

В заданиях, где участник взаимодействовал с объектами на экране, взгляд обычно появлялся раньше действия курсором. Пиковая взаимная корреляция траекторий взгляда и курсора составляла $r = 0,41$ и в «Найди отличия», и в «Сортировке пузырьком». Медианное опережение составляло 75 мс в задаче поиска отличий и 200 мс при сортировке. Особенно показателен результат «Найди отличия»: участник фиксировал целевую область в среднем за 3,4 с до клика. Значит, увидеть потенциальное отличие и отметить его – не одно и то же действие; между ними остается время на сравнение и проверку.

В «Ханойской башне» перед правильными и неправильными ответами взгляд был одинаково сосредоточен: медианный показатель разброса составлял около 0,29 в обоих случаях. Поэтому ошибку нельзя объяснить просто тем, что участник смотрел невнимательно или хаотично. Неверное решение могло следовать и после достаточно сфокусированного просмотра.

Наиболее ясно повторная проверка проявилась в лабиринте. Только около 30 % отсчетов взгляда приходилось на область впереди текущего положения курсора. Медианное значение опережения составляло –41 шаг траектории: участники чаще смотрели на уже пройденный участок, чем далеко вперед. Частота повторных обращений достигала 0,85 и была самой высокой среди четырех заданий.

Анализ крупных зон интереса показал и высокую повторяемость маршрута: 60 из 63 участников проходили зоны в последовательности А→С→D→В. Во второй части лабиринта сохранялся тот же характер поведения, хотя сам маршрут был другим. По сути, участники не пытались заранее просмотреть весь путь, а двигались небольшими шагами и постоянно сверялись с текущим положением. Такой способ решения можно описать как проверку по ходу выполнения. На имеющихся данных нельзя сказать, характерна ли эта стратегия именно для определенного уровня вычислительного мышления, но в исследуемой группе она воспроизводилась очень устойчиво.

Самый показательный результат был получен в задании «Найди отличия». Среди 74 пропусков, для которых качество трекинга позволяло надежно определить положение взгляда, 64 % пришлось на случаи, когда участник смотрел на область с отличием, но не отметил его. Только 36 % пропусков были связаны с тем, что взгляд вообще не достигал целевой области. Иными словами, чаще проблема возникала не в том, чтобы найти нужное место на изображении, а в том, чтобы распознать изменение после того, как оно уже оказалось в поле зрительного внимания.

Дополнительный анализ времени до первой фиксации не выявил значимого различия между успешно обнаруженными и пропущенными, но зафиксированными целями: медианы составляли соответственно 2,2 и 2,6 с, $p = 0,36$. Это дополнительно показывает, что сам факт раннего попадания взгляда на изменение не гарантировал его распознавания. Процессуально следует различать как минимум два механизма ошибки: неудачу поиска, когда релевантный элемент не попадает в фокус зрительного внимания, и неудачу распознавания, когда элемент фиксируется, но не становится основанием для ответа.

Таблица 2 – Основные показатели зрительного контроля при выполнении заданий CT-Gaze

Процессуальный показатель	Результат	Интерпретация в рамках исследования
Опережение взгляда относительно курсора	75 мс («Найди отличия»); 200 мс («Сортировка»)	Зрительная ориентировка предшествует моторному действию
Фиксация цели до клика	Медиана 3,4 с	Между обнаружением и ответом сохраняется этап проверки/решения
Доля взгляда впереди курсора в лабиринте	Медиана 30 %	Преобладает локальная текущая проверка, а не дальнее зрительное планирование
Повторные обращения в лабиринте	0,85	Выраженный повторный контроль уже пройденного маршрута
Единая последовательность зон	60 из 63 участников	Высокая стереотипность стратегии навигации
Пропуски «зафиксировано, но не распознано»	64 % чисто отслеженных пропусков	Основная часть ошибок не сводится к неудаче зрительного поиска

Лабиринт завершили все участники; медианное число ходов составило 1458, частота возвратов на пройденный путь – 0,22. В сортировке пузырьком финального уровня достигли 54 из 63 участников при медианной точности соответствия 0,66.

Медианная длительность фиксаций была устойчивой у одного и того же участника в разных заданиях: межзадачные корреляции Спирмена находились в диапазоне $\rho = 0,67\text{--}0,85$, все $p < 0,001$. После коррекции на множественные сравнения методом FDR статистически значимых связей выявлено не было; минимальное скорректированное значение p составило 0,995. Следовательно, в пределах данной выборки длительность фиксаций целесообразно рассматривать как устойчивую индивидуальную характеристику зрительного поведения, а не как прямой показатель успешности выполнения. В «Ханойской башне» разброс взгляда перед ответом также был практически одинаковым перед верными и неверными ходами (медиана около 0,29), поэтому ошибки не сопровождалась очевидным рассеиванием просмотра непосредственно перед действием.

Результаты показывают, что зрительный контроль при решении задач нельзя описать одним универсальным показателем – например, скоростью, числом фиксаций или их длительностью. Его организация менялась вместе со структурой задания. При сравнении двух изображений взгляд преимущественно двигался по горизонтали, в лабиринте участники часто возвращались к уже пройденному пути, а при сортировке взгляд немного опережал действие. Это согласуется с данными о том, что характеристики движений глаз зависят от типа задачи и используемого способа рассуждения (Norqvist et al., 2019).

Особенно интересен результат по лабиринту. В возрасте 15–19 лет механизмы исполнительного контроля еще продолжают развиваться (Tervo-Clemmens et al., 2023), а учебная деятельность требует все большей самостоятельности в организации сложных действий. В нашем задании участники, как правило, не строили длинный зрительный план вперед. Они продвигались по маршруту последовательно и регулярно возвращались взглядом к уже пройденным участкам. Такой паттерн хорошо описывается как текущая проверка: действие выполняется небольшими шагами, а его результат контролируется непосредственно по ходу выполнения. При этом данные не позволяют утверждать, что такая стратегия обусловлена возрастом или опытом программирования.

Не менее важно различие между поиском и распознаванием. Сам факт фиксации объекта не означает, что человек осознал его значение. В исследованиях слепоты к изменениям уже показывалось, что изменение может остаться незамеченным даже тогда, когда взгляд попадает в соответствующую область (O'Regan et al., 2000; Smith et al., 2012). В нашем исследовании это проявилось очень наглядно: большинство надежно отслеженных пропусков в «Найди отличия» происходило уже после фиксации цели. Поэтому показатель «не найдено» объединяет по меньшей мере два разных случая – цель не попала в поле зрительного внимания или попала, но изменение не было распознано.

Временное соотношение взгляда и действия дает еще одну важную деталь. Взгляд на потенциальную цель появлялся раньше клика, а в «Найди отличия» между фиксацией и ответом проходило несколько секунд. По этим данным нельзя точно сказать, какая именно мыслительная операция происходила в этот промежуток. Но очевидно, что зрительное обнаружение и окончательное решение не совпадали во времени: после фиксации оставался этап, на котором участник сравнивал информацию, проверял себя или принимал решение. Именно такие детали теряются, если анализировать только правильность ответа и общее время выполнения (Grover & Pea, 2013; Ke et al., 2021).

При интерпретации результатов важно учитывать возрастной дизайн исследования. Все участники находились в диапазоне 15–19 лет, но отдельные возрастные группы между собой не сравнивались. Поэтому полученные данные описывают решение задач у обучающихся этого возрастного периода, но не показывают, как соответствующие стратегии меняются от 15 к 19 годам. Для вывода о возрастной динамике потребовался бы другой дизайн.

Еще одно ограничение связано с составом выборки: все участники обучались в одном IT-колледже. Поэтому обнаруженные особенности нельзя автоматически переносить на всех подростков и молодых людей того же возраста. В данной работе они рассматриваются как характеристики решения задач именно в исследованной возрастно-образовательной группе.

Совокупность результатов показывает, почему отдельный глазодвигательный показатель нельзя автоматически трактовать по принципу «больше – лучше» или «меньше – лучше». Например, частые возвраты взгляда в лабиринте могли бы выглядеть как признак неэффективности, если рассматривать их вне контекста. Однако сопоставление с маршрутом показывает, что они являются частью регулярной проверки текущего положения. Похожая ситуация наблюдается с длительностью фиксаций: она достаточно стабильна у одного и того же человека в разных заданиях, но внутри выборки не связана с успешностью. Поэтому смысл показателя становится понятен только тогда, когда взгляд рассматривается вместе со структурой задания и действием участника.

Особенно хорошо это видно на примере пропущенных отличий. Внешне результат одинаков: участник не отметил изменение. Но данные взгляда показывают два разных сценария. В одном случае человек вообще не посмотрел на нужную область. В другом – посмотрел, но не отреагировал. Второй сценарий согласуется с известным феноменом, при котором фиксация изменившейся области не гарантирует обнаружения изменения (O'Regan et al., 2000; Smith et al., 2012). Для анализа решения задач это важное различие: оно позволяет точнее определить, на каком этапе возникла ошибка – при поиске информации или уже после того, как информация стала зрительно доступной.

В целом данные CT-Gaze позволяют увидеть то, что остается за пределами обычного итогового балла: как участник ищет информацию, когда возвращается к ней, насколько взгляд опережает действие и на каком этапе может возникнуть ошибка. Поэтому движения глаз в данном случае полезны не как самостоятельная мера «качества мышления», а как дополнительный источник информации о ходе решения задачи.

У исследования есть несколько ограничений. Все участники обучались в одном образовательном учреждении и находились на одном этапе обучения, поэтому результаты нельзя без дополнительной проверки переносить на другие группы. Сравнительной выборки не было, и связывать обнаруженные стратегии с уровнем вычислительного мышления или опытом программирования нельзя. Задания предъявлялись в фиксированном порядке, поэтому возможный эффект последовательности нельзя полностью отделить от особенностей самих заданий. Кроме того, веб-камерный айтрекинг менее точен, чем лабораторные системы, поэтому пространственно чувствительные результаты интерпретировались только при достаточном качестве калибровки. Наконец, возрастной диапазон 15–19 лет рассматривался целиком, без сравнения отдельных возрастов.

Выводы и заключение

Исследование показало, что у обучающихся 15–19 лет зрительный контроль заметно меняется в зависимости от того, какую задачу они решают. Направление саккад следовало пространственной организации задания, а взгляд в интерактивных задачах появлялся раньше действия курсором. В лабиринте участники преимущественно продвигались небольшими шагами и регулярно возвращались взглядом к уже пройденному участку, то есть проверяли решение непосредственно по ходу выполнения. В «Найди отличия» обнаружились два разных типа пропусков: иногда участник вообще не смотрел на нужную область, но значительно чаще он фиксировал ее взглядом и все же не отмечал изменение. Таким образом, одинаковая внешняя ошибка могла возникать на разных этапах решения.

Эти результаты показывают, зачем при исследовании решения задач дополнять итоговые баллы наблюдением за самим процессом. По движениям глаз можно отделить зрительный поиск от последующего распознавания, увидеть повторную проверку и проследить переход от фиксации к действию. Для возрастной психологии такой подход дает более подробное описание интеллектуальной деятельности обучающихся в период перехода от старшего подросткового возраста к ранней юности. При этом наши данные не позволяют говорить об изменении стратегий с возрастом: для этого потребовалось бы сравнение возрастных групп или продольное исследование. Следующим шагом может стать проверка выявленных закономерностей на других образовательных выборках и прямое сопоставление возрастных групп. В пределах настоящего исследования можно сделать более осторожный вывод: решение задач связано не только с конечной успешностью, но и с различными способами поиска, проверки и использования зрительной информации.

Библиография

- Выготский, Л. С. (1982). *Собрание сочинений: В 6 т. Т. 2. Проблемы общей психологии* (В. В. Давыдов, ред.). Педагогика.
- Гальперин, П. Я. (1985). *Методы обучения и умственное развитие ребенка*. Издательство Московского университета.
- Хеннер, Е. К. (2016). Вычислительное мышление. *Образование и наука*, (2), 18–33. <https://doi.org/10.17853/1994-5639-2016-2-18-33>
- Aljehane, S., Sharif, B., & Maletic, J. I. (2023). Studying developer eye movements to measure cognitive workload and visual effort for expertise assessment. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 7(ETRA), Article 166, 1–18. <https://doi.org/10.1145/3591135>
- Arslanyilmaz, A., & Sullins, J. (2023). Eye-gaze data to measure students' attention to and comprehension of computational thinking concepts. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 38, Article 100414. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100414>
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association* (pp. 1–25).
- Grover, S., & Pea, R. (2013). Computational thinking in K–12: A review of the state of the field. *Educational Researcher*, 42(1), 38–43. <https://doi.org/10.3102/0013189X12463051>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329–354. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.4.329>
- Ke, F., Liu, R., Sokolij, Z., Dahlstrom-Hakki, I., & Israel, M. (2021). Using eye tracking for research on learning and computational thinking. In X. Fang (Ed.), *HCI in games: Serious and immersive games* (pp. 216–228). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77414-1_16
- Norqvist, M., Jonsson, B., Lithner, J., Qwillbaird, T., & Holm, L. (2019). Investigating algorithmic and creative reasoning strategies by eye tracking. *The Journal of Mathematical Behavior*, 55, Article 100701. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2019.03.008>
- O'Regan, J. K., Deubel, H., Clark, J. J., & Rensink, R. A. (2000). Picture changes during blinks: Looking without seeing and seeing without looking. *Visual Cognition*, 7(1–3), 191–211. <https://doi.org/10.1080/135062800394766>
- Papoutsaki, A., Sangkloy, P., Laskey, J., Daskalova, N., Huang, J., & Hays, J. (2016). WebGazer: Scalable webcam eye tracking using user interactions. In *Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 3839–3845). AAAI Press.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>

- Santesso, D. L., & Segalowitz, S. J. (2008). Developmental differences in error-related ERPs in middle- to late-adolescent males. *Developmental Psychology*, 44(1), 205–217. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.44.1.205>
- Semmelmann, K., & Weigelt, S. (2018). Online webcam-based eye tracking in cognitive science: A first look. *Behavior Research Methods*, 50(2), 451–465. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0913-7>
- Smith, T. J., Lamont, P., & Henderson, J. M. (2012). The penny drops: Change blindness at fixation. *Perception*, 41(4), 489–492. <https://doi.org/10.1068/p7092>
- Tang, X., Yin, Y., Lin, Q., Hadad, R., & Zhai, X. (2020). Assessing computational thinking: A systematic review of empirical studies. *Computers & Education*, 148, Article 103798. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798>
- Tervo-Clemmens, B., Calabro, F. J., Parr, A. C., Fedor, J., Foran, W., & Luna, B. (2023). A canonical trajectory of executive function maturation from adolescence to adulthood. *Nature Communications*, 14, Article 6922. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42540-8>
- Weil, L. G., Fleming, S. M., Dumontheil, I., Kilford, E. J., Weil, R. S., Rees, G., Dolan, R. J., & Blakemore, S.-J. (2013). The development of metacognitive ability in adolescence. *Consciousness and Cognition*, 22(1), 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2013.01.004>
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>

Поступила в редакцию: 14.10.26

Принята к публикации: 20.10.26