

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-51>

УДК 004.942

РЕШЕТНЯК Валентин

Черкаський державний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2865-8678>

v.v.reshetniak.asp22@chdtu.edu.ua

ФАУРЕ Еміль

Черкаський державний технологічний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2046-481X>

e.fauere@chdtu.edu.ua

МОБІЛЬНИЙ EYE-TRACKING ЯК ІНСТРУМЕНТ ВИЯВЛЕННЯ ВІДМІННОСТЕЙ У РОЗПОДІЛІ ВІЗУАЛЬНОЇ УВАГИ: РОЛЬ ВІКУ ТА ЦИФРОВОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ

Стаття присвячена вивченню впливу віку та рівня цифрової компетентності на розподіл візуальної уваги і суб'єктивну зручність при взаємодії з типовими інтерфейсами мобільних застосунків. Для проведення дослідження розроблено функціональний прототип мобільного застосунку, що реалізує eye-tracking на основі відеопотоку фронтальної камери смартфона без використання спеціалізованого обладнання. У дослідженні взяли участь 55 учасників віком від 20 до 60 років, розподілених на групи за віком (молодші / старші 40 років) та рівнем цифрової компетентності. Рекрутинг учасників здійснювався через платформу Prolific, що забезпечило різноманітність вибірки за національністю та цифровим досвідом. Учасники виконували завдання на трьох типових екранах — картці товару, екрані медичних результатів та навігаційній карті — з одночасним записом метрик погляду та суб'єктивних оцінок зручності. Результати показали, що просторова ієрархія елементів є домінуючим чинником розподілу уваги незалежно від характеристик користувача. Статистично значущих вікових відмінностей в об'єктивних метриках айтрекінгу не виявлено, однак старші учасники систематично гірше оцінювали зручність інтерфейсу, що вказує на недостатність поведінкових показників для повноцінної оцінки когнітивного навантаження. Цифрова компетентність вплинула на стратегії взаємодії: досвідченіші користувачі спочатку зчитували контекстну інформацію і лише потім зверталися до елемента дії, що корелювало з кращим розумінням інтерфейсу. Поєднання айтрекінгових метрик із суб'єктивними оцінками виявилось методологічно продуктивним. Отримані результати лягли в основу практичних дизайн-рекомендацій щодо просторового розміщення ключових елементів та адаптації інтерфейсів для вікових груп. Запропонований підхід демонструє практичну придатність мобільного eye-tracking для дизайн-досліджень та формування рекомендацій для різних аудиторій.

Ключові слова: айтрекінг, мобільні додатки, дизайн дослідження, аналіз погляду, дизайн інтерфейсу, користувацька поведінка, оцінка зручності.

RESHETNIAK Valentyn, FAURE Emil

Cherkasy State Technological University

MOBILE EYE-TRACKING AS A TOOL FOR DETECTING DIFFERENCES IN VISUAL ATTENTION DISTRIBUTION: THE ROLE OF AGE AND DIGITAL COMPETENCE

This paper examines the influence of age and digital competence on the distribution of visual attention and perceived usability during interaction with typical mobile application interfaces. A mobile application prototype was developed to conduct the study, implementing eye-tracking using the front-facing camera video stream without specialized equipment. The study involved 55 participants aged 20 to 60, divided into groups by age (below/above 40 years) and level of digital competence. Participant recruitment was conducted via the Prolific platform, ensuring diversity of the sample in terms of nationality and digital background. Participants completed tasks on three representative screens: a product card, a medical results screen, and a navigation map, while gaze metrics and subjective usability ratings were recorded simultaneously. Results indicate that the spatial hierarchy of interface elements is the dominant factor in directing visual attention, regardless of user characteristics. No statistically significant age-related differences were found in objective eye-tracking metrics; however, older participants consistently rated interface usability lower, suggesting that behavioral measures alone are insufficient for a comprehensive assessment of cognitive load. Digital competence influenced interaction strategies: more experienced users first read contextual information before engaging with action elements, which correlated with better interface comprehension. The combination of eye-tracking metrics and subjective ratings proved methodologically productive. The findings informed practical design recommendations regarding the spatial placement of key elements and interface adaptation for different age groups. The proposed approach demonstrates the practical feasibility of mobile eye-tracking for UX research and for design recommendations tailored to diverse user audiences.

Keywords: eye-tracking, mobile applications, UX research, gaze analysis, interface design, user behavior, usability evaluation.

Стаття надійшла до редакції / Received 12.01.2026

Прийнята до друку / Accepted 09.02.2026

Опубліковано / Published 05.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Решетняк Валентин, Фауре Еміль

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Широке використання мобільних застосунків актуалізує питання відмінностей у взаємодії між користувачами різного віку та з різною цифровою компетентністю. Систематичний огляд [1] показує, що вік є одним із ключових факторів, що впливає на взаємодію з веб-інтерфейсами: він пов'язаний зі збільшенням часу виконання завдань, вищою кількістю помилок та нижчим рівнем задоволеності інтерфейсами. Зі свого боку, дослідження [2] демонструє, що користувачі з різним рівнем цифрової грамотності використовують відмінні стратегії пошуку інформації та по-іншому розподіляють візуальну увагу на екрані як у веб-системах, так і в мобільних інтерфейсах. Завдяки технології eye-tracking можна отримати об'єктивні дані про розподіл візуальної уваги, точно виявляти вузькі місця дизайну та будувати персоналізовані рекомендації для конкретних аудиторій.

Незважаючи на зростання кількості досліджень мобільної взаємодії, залишається недостатньо розуміння того, як саме вікові та досвідчені групи відрізняються у паттернах візуальної уваги на типових мобільних екранах. Більшість існуючих досліджень фокусується на десктоп-інтерфейсах або використовує громіздке обладнання, що обмежує валідність досліджень. Крім того, бракує доступних інструментів, які б дозволили дослідникам та практикам проводити власні мобільні eye-tracking дослідження без значних інвестицій у спеціалізоване обладнання.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

За останні роки опубліковано декілька фундаментальних робіт у сфері eye-tracking досліджень. Зокрема, у роботі [3] представлено комплексний практичний посібник з мобільного eye-tracking у психологічних дослідженнях. Опублікована серія з п'яти статей "The Fundamentals of Eye Tracking" [4, 5, 6] формує цілісну методологічну основу для планування, проведення та інтерпретації eye-tracking експериментів. Серія охоплює зв'язок між теорією та дослідницькими питаннями, принципи визначення метрик руху очей, підходи до вибору обладнання, інструменти для проведення досліджень, а також роль пілотних експериментів у забезпеченні якості даних. [7, 8]

Окремий напрямок сучасних досліджень зосереджений на покращенні калібрування eye-tracking систем. Зокрема, у [9] представлено метод калібрування, що використовує природне читання тексту замість явних калібрувальних завдань. Запропонований підхід демонструє вищу точність порівняно з традиційною 7-точковою калібрацією, наближеною до професійних eye-tracking систем, без використання додаткових інфрачервоних опромінювачів, що робить його придатним для застосування у web-camera та мобільному eye-tracking. У роботі [10] описується розроблений open-source Python framework GazeFollower, адаптований для eye-tracking із фронтальних камер смартфонів. Система демонструє точність, достатню для польових досліджень, забезпечуючи отримання даних переміщення погляду у реальному часі.

Важливу роль відіграють і дослідження, присвячені методології проведення eye-tracking експериментів. Так, у роботі [11] наведено емпіричні докази того, що для стабільної оцінки перегляду сцен за допомогою eye-tracking достатньо вибірки розміром 30-40 учасників. Дослідження [12] звертає увагу на труднощі, з якими стикаються літні користувачі під час взаємодії з мобільними інтерфейсами. Завдяки eye-tracking виявлено, що візуальне перевантаження значно ускладнює пошук функцій, тоді як можливість приховування нерелевантних елементів суттєво покращує продуктивність. У роботі [13] проаналізовано вікові фізіологічні зміни, що впливають на якість eye-tracking даних, зокрема зменшення розміру зіниці, підвищену частоту моргань і зниження стабільності фіксацій, що вимагає адаптації калібрування, вибору метрик і дизайну експерименту. Крім того, у дослідженні [14] виявлено відмінності в паттернах переміщення погляду між групами користувачів з різним рівнем цифрової грамотності.

Практичне застосування eye-tracking також активно розвивається в актуальних прикладних дослідженнях. Зокрема, [15] демонструють ефективність використання eye-tracking для оцінки зручності та користувацького досвіду мобільного застосунку, призначеного для підтримки терапії пацієнтів із онкологічними захворюваннями. Водночас дослідження [16] показує, що eye-tracking у поєднанні з цифровими біомаркерами може використовуватися для діагностики нейроповедінкових розладів, зокрема ADHD у дітей.

Попри значний прогрес у розвитку eye-tracking технологій, досі зберігаються суттєві виклики, які потребують вирішення. Наявні підходи переважно орієнтовані на статичні екрани, тоді як аналіз динамічних мобільних інтерфейсів залишається недостатньо опрацьованим. Крім того, кількість доступних інструментів для дослідників-практиків без доступу до дорогого спеціалізованого обладнання є обмеженою, а також бракує системних досліджень, що поєднують мобільний eye-tracking із порівняльним аналізом вікових відмінностей і рівня цифрової грамотності в межах єдиного експерименту.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Ця робота зосереджена на визначенні впливу дизайну на розподіл уваги та продуктивності в різних групах користувачів завдяки eye-tracking експерименту, який дає змогу систематично порівняти взаємодію з

мобільним інтерфейсом груп різного віку і цифрового досвіду, відповідно до сучасних методологічних стандартів [3]. Для цього було створено функціональний прототип мобільного застосунка для проведення eye-tracking досліджень, що забезпечує отримання актуальних об'єктивних даних про візуальну увагу. На основі отриманих даних сформовано дизайн-рекомендації для адаптації інтерфейсів під різні аудиторії.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Це дослідження спрямоване на вивчення впливу віку та рівня цифрової грамотності на візуальну увагу й ефективність взаємодії користувачів із типовими інтерфейсами мобільних застосунків. Згідно з [12], очікується, що користувачі старшого віку демонструватимуть довший час до першої фіксації T_{ff} у критичних зонах інтересу (АОІ), а також довші фіксації в межах АОІ порівняно з молодшими користувачами. Водночас, згідно з [14], очікується, що вища цифрова грамотність частково компенсуватиме віковий ефект, зменшуючи T_{ff} та час виконання завдання. Найгірші показники прогноуються для групи “старший вік + низька цифрова грамотність”, а найкращі — для групи “молодший вік + висока цифрова грамотність”.

Для оцінювання впливу віку та цифрової грамотності відповідно до рекомендацій [4]. Візуальну увагу будемо оцінювати за двома метриками: часом до першої фіксації на критичних АОІ (T_{ff}) та сумарним часом перебування погляду в цих зонах. Суб'єктивну зручність будемо вимірювати після кожного екрану за допомогою двох запитань про легкість виконання завдання: за шкалою від 1 до 5, де 1 означає «дуже легко», 5 — «дуже важко». Експеримент використовує два незалежні фактори: вік (молодша та старша групи, межа 40 років за медіаною вибірки) та цифрова грамотність. Для оцінювання цифрової грамотності будемо використовувати короткий опитувальник із 5 запитань, кожне з яких оцінюється за шкалою 1–5. Індекс цифрової грамотності (SL) розраховується як нормована сума відповідей:

$$SL = \frac{\sum_{i=1}^5 q_i}{25} \quad (1)$$

де q_i — відповідь на i -те запитання (1 = дуже важко, 5 = дуже легко). $SL = 1,0$ відповідає максимальному рівню; поріг $SL \geq 0,9$ використовується для ідентифікації респондентів з високою цифровою грамотністю.

Для проведення експерименту розроблено прототип мобільного застосунка, що відстежує переміщення погляду на основі відео з фронтальної камери на основі бібліотеки Eyedid SDK [17]. Таке рішення вирішує проблему доступу до eye-tracking досліджень без використання дорогого спеціалізованого обладнання. Апаратні вимоги для проведення експерименту включають: використання смартфонів середнього класу (Android 15+), наявність в смартфоні фронтальної камери не нижче 720p роздільної здатності. Відеопотік із фронтальної камери обробляється в реальному часі. Переміщення погляду записується у форматі: фіксація, координати, час початку, тривалість. Калібрування виконується за допомогою 5-точкового калібрування. Дослідження відповідає принципам збереження приватності: відеопотік обробляється локально на пристрої, відео не зберігається, особисті дані не збираються. Після обробки залишаються лише агреговані координатні дані погляду, теплові карти та маршрути переміщення.

У ході експерименту протестовано три типових екрани мобільних застосунків:

- Екран 1 (рис. 1а): Картка товару. Завдання: знайти ціну та акційну пропозицію. АОІ: 1 — акційна пропозиція; 2 — ціна та назва товару.

- Екран 2 (рис. 1б): Медичні результати. Завдання: визначити, чи є відхилення у показниках. АОІ: індикатори відхилення.

- Екран 3 (рис. 1в): Карта з кнопкою дії. Завдання: знайти, як вмикається функція пошуку паркінгу. АОІ: кнопка “Паркування”.

Процедура експерименту містить наступні етапи:

- Етап 1: Підготовка. Інформована згода на участь в експерименті. Демографічний опитувальник, а також опитувальник цифрової грамотності для класифікації за досвідом.

- Етап 2: Калібрування. 5-точкове калібрування на екрані смартфона.

- Етап 3: Основні завдання. Інструкція перед кожним завданням. Учасник тримає смартфон природно на відстані 30–40 см. Запис погляду.

- Етап 4: Суб'єктивна оцінка. Після кожного екрану учасники відповідали на 2 питання щодо виконаного завдання, оцінюючи легкість кожної дії за шкалою від 1 до 5, де 1 — дуже легко, 5 — дуже важко.

- Етап 5: Завершення. Демонстрація результатів відстеження погляду, завантаження результатів в хмарне сховище. Перехід до наступного завдання.

Під час експерименту приватність респондентів була забезпечена наступними кроками:

- Відеопотік з камери оброблявся на смартфоні, відео не зберігалось. Були збережені лише координати погляду, теплові карти та маршрути погляду.

- Зберігалися лише дані, необхідні для дослідження. Ніякої чутливої або персональної інформації не збиралося. Кожному учаснику присвоювався ID без зв'язку з особистими даними.

- Учасники були детально проінформовані про те, які дані збираються, як обробляються, для чого використовуються.

Для рекрутингу учасників була використана платформа Prolific [18], що дозволило залучити респондентів різних національностей, віку та рівня цифрового досвіду. Це підвищує різноманітність вибірки та покращує узагальнюваність отриманих результатів на ширшу аудиторію.

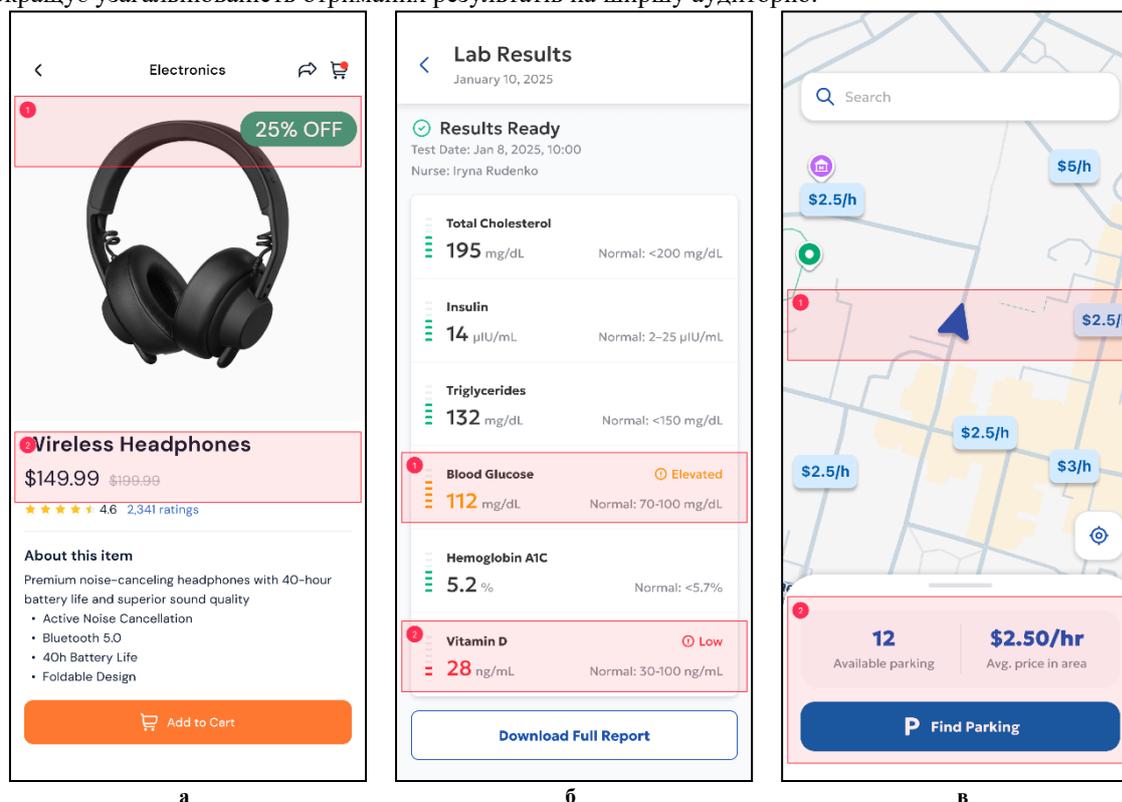


Рис. 1. Екрани мобільних застосунків, що були використані в експериментах:
а — картка товару, б — медичні результати, в — карта з кнопкою дії

Після завершення експерименту виконано поетапний аналіз зібраних даних. Спочатку результати впорядковано та відсортовано, після чого для кожного учасника розраховано індекс цифрової грамотності (SL), який використовувався для подальшої класифікації за рівнем цифрового досвіду. Далі з набору даних вилучено неуспішні спроби та записи з пропусками, що могли спотворювати підсумкові оцінки. На основі масиву фіксацій для кожного екрана та визначених зон інтересу (AOI) обчислено ключові метрики візуальної уваги, зокрема час до першої фіксації (T_{ff}) у межах відповідної AOI та тривалість фіксацій у цих зонах, що дозволило перейти до порівняльного аналізу між екранами та групами учасників.

У дослідженні взяли участь 55 учасників, віком від 20 до 60 років (середній вік 37,2 року, медіана 35 років): 31 молодших (< 40 років) та 24 старших (≥ 40 років). За порогом цифрової грамотності $SL \geq 0,9$ вибірка розподілилася на 33 учасники (60%) з високою та 22 (40%) з низькою грамотністю.

Таблиця 1 містить ключові показники для кожної AOI: охоплення (кількість та відсоток учасників, погляд яких зафіксувався в зоні інтересу), медіанний час до першої фіксації T_{ff} та медіанний час перебування погляду в зоні, а також кількість учасників, для яких ця AOI стала першою зафіксованою.

Таблиці 2 і 3 порівнюють медіанні значення часу до першої фіксації (T_{ff}) та часу фіксацій в AOI між підгрупами. Δ — різниця (старша або нижча SL мінус молодша або вища SL): позитивне значення означає, що ця підгрупа затримується довше. Таблиця 4 узагальнює суб'єктивні оцінки зручності по кожному питанню в розрізі груп (шкала 1–5; 1 = «дуже легко», 5 = «дуже важко»).

Таблиця 1

Зведені метрики зонального аналізу по AOI

| Екран/AOI | Досягли | Досягли % | Медіанна T_{ff} (мс) | Медіанний час фіксацій (мс) | Перша фіксація (n) |
|-----------------------|---------|-----------|------------------------|-----------------------------|--------------------|
| E1 AOI 1 Акція | 29/55 | 52,7% | 3 666 | 708 | 16 |
| E1 AOI 2 Ціна і назва | 33/55 | 60,0% | 1 672 | 1 140 | 27 |
| E2 AOI 1 Глюкоза | 35/55 | 63,6% | 3 718 | 1 204 | 31 |
| E2 AOI 2 Вітамін D | 25/55 | 45,5% | 6 563 | 764 | 10 |
| E3 AOI 1 Курсор мапи | 30/55 | 54,5% | 3 500 | 603 | 24 |
| E3 AOI 2 Інфо-панель | 29/55 | 52,7% | 3 178 | 989 | 19 |

Таблиця 2

Час до першої фіксації T_{ff} у підгрупах (медіана, мс)

| Екран/AOI | Молоді, <40 | Старші, ≥40 | Δ вік | Високий SL≥0,9 | Низький SL<0,9 | Δ SL |
|-----------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|--------|
| E1 AOI 1 Акція | 3 520 | 6 067 | +2 547 | 3 035 | 6 035 | +3 000 |
| E1 AOI 2 Ціна і назва | 1 732 | 1 657 | -76 | 1 732 | 1 657 | -76 |
| E2 AOI 1 Глюкоза | 3 557 | 4 393 | +836 | 3 754 | 3 304 | -450 |
| E2 AOI 2 Вітамін D | 7 330 | 5 355 | -1 975 | 6 461 | 7 170 | +710 |
| E3 AOI 1 Курсор мапи | 4 149 | 2 030 | -2 119 | 4 652 | 1 206 | -3 446 |
| E3 AOI 2 Інфо-панель | 2 864 | 4 754 | +1 890 | 3 614 | 3 141 | -473 |

Таблиця 3

Час фіксації в АОІ у підгрупах (медіана, мс)

| Екран/AOI | Молоді, <40 | Старші, ≥40 | Δ вік | Високий SL≥0,9 | Низький SL<0,9 | Δ SL |
|-----------------------|-------------|-------------|--------|----------------|----------------|--------|
| E1 AOI 1 Акція | 853 | 506 | -348 | 853 | 643 | -210 |
| E1 AOI 2 Ціна і назва | 1 108 | 1 140 | +32 | 731 | 1 349 | +618 |
| E2 AOI 1 Глюкоза | 1 025 | 1 588 | +564 | 1 031 | 2 219 | +1 188 |
| E2 AOI 2 Вітамін D | 617 | 844 | +227 | 487 | 1 018 | +530 |
| E3 AOI 1 Курсор мапи | 572 | 634 | +62 | 603 | 600 | -3 |
| E3 AOI 2 Інфо-панель | 2 424 | 833 | -1 591 | 1 016 | 848 | -168 |

Таблиця 4

Суб'єктивні оцінки зручності (середнє; шкала 1–5)

| Запитання | Всього | Молоді, <40 | Старші, ≥40 | Δ вік | Високий SL≥0,9 | Низький SL<0,9 | Δ SL |
|---|--------|-------------|-------------|-------|----------------|----------------|-------|
| Наскільки легко було знайти ціну? | 1,46 | 1,30 | 1,68 | +0,38 | 1,41 | 1,55 | +0,14 |
| Як швидко ви помітили знижку? | 2,08 | 1,83 | 2,41 | +0,58 | 1,94 | 2,30 | +0,36 |
| Чи легко було визначити відхилення у показниках? | 1,77 | 1,81 | 1,71 | -0,09 | 1,66 | 1,95 | +0,29 |
| Чи була зрозуміла серйозність відхилень? | 1,71 | 1,74 | 1,67 | -0,08 | 1,69 | 1,75 | +0,06 |
| Як швидко ви знайшли кнопку пошуку паркування? | 2,29 | 2,19 | 2,43 | +0,24 | 2,18 | 2,47 | +0,29 |
| Чи було зрозуміло ваше поточне місцезнаходження на карті? | 1,77 | 1,71 | 1,86 | +0,15 | 1,73 | 1,84 | +0,11 |

У першому експерименті (рис. 2), зона ціни та назви товару (АОІ 2) привернула погляд більшої частини учасників (60,0%), ніж зона акційної пропозиції (АОІ 1, 52,7%), і фіксувалася першою майже вдвічі частіше (27 учасників проти 16). Такий розподіл відповідає F-подібній моделі перегляду екрана, при якій великий текстовий блок ціни є природним «якорем» уваги.

На рис. 3 зображено розподілення часу T_{ff} до першої фіксації у будь-якій зоні АОІ для першого експерименту залежно від віку і комп'ютерної грамотності. Медіана T_{ff} зони ціни склала 1 672 мс, тоді як зона акційної пропозиції досягалася у середньому за 3 666 мс. Суб'єктивно пошук ціни виявився простим для переважної більшості: 84% оцінили його як легкий або дуже легкий. Пошук акційної пропозиції назвали легким лише 67% учасників. Це свідчить про те, що значок знижки є менш очевидним для значної частини аудиторії. Старші учасники систематично гірше оцінювали обидва елементи: і пошук ціни, і помітність знижки. При цьому цифрова грамотність теж впливала на оцінку знижки: учасники з нижчою цифровою грамотністю давали їй гірші оцінки. Водночас жодних значущих відмінностей між групами з різною цифровою грамотністю в об'єктивних айтрекінг-даних не виявлено. В цьому експерименті різниця між групами проявляється у тому, наскільки зручним здався інтерфейс, але не в тому, як саме очі переміщувалися екраном.

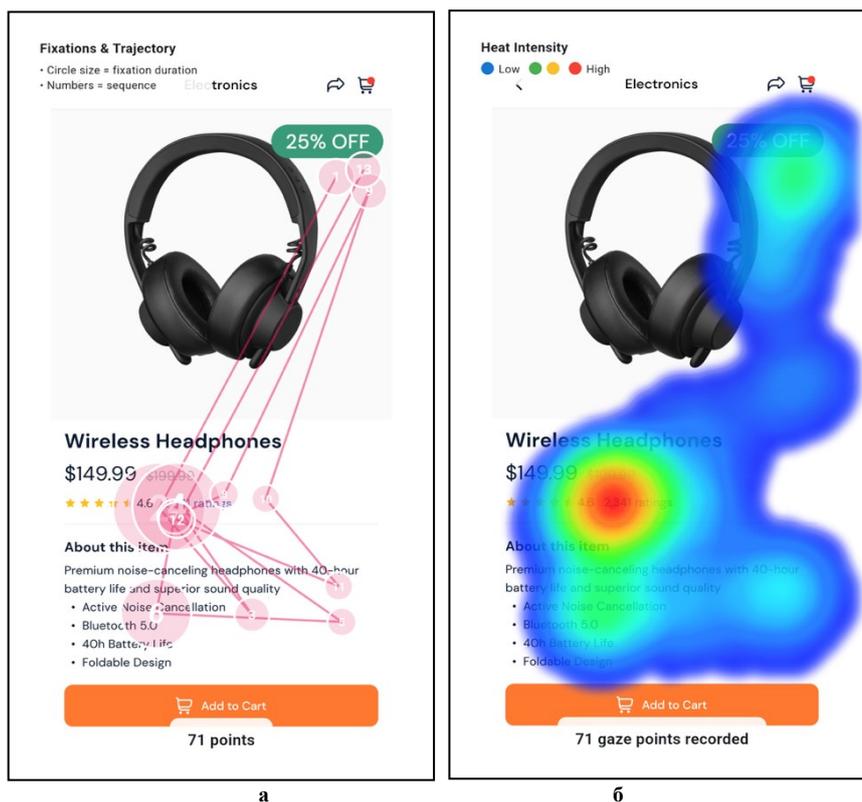


Рис. 2. Візуалізація першого айтрекінг експерименту: а — маршрут погляду, б — теплова карта

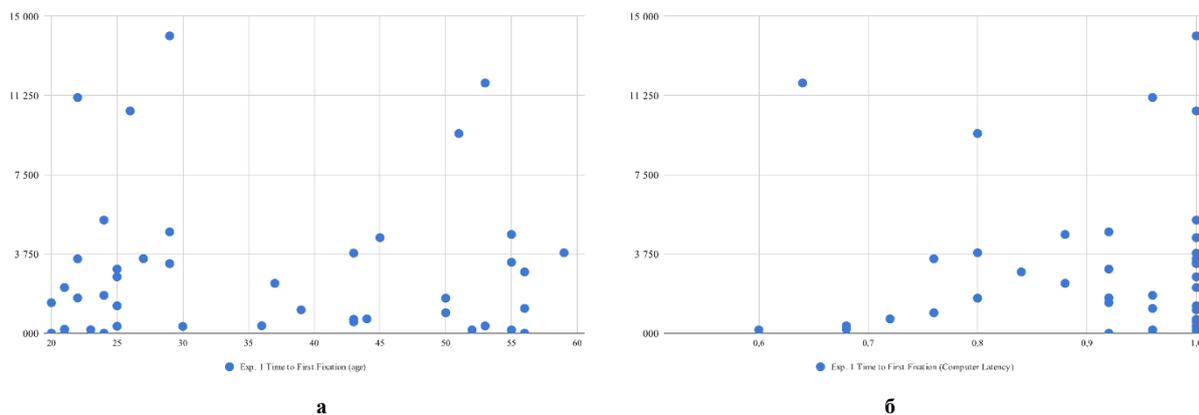


Рис. 3. Розподілення часу до першої фіксації для першого експерименту:
а — за віком, б — за комп'ютерною грамотністю

У другому експерименті (рис. 4) на екрані медичних результатів показник рівня глюкози (AOI 1) був зафіксований першим у 31 із 41 учасника, які мали фіксації принаймні в одній із зон інтересу. Низький показник вітаміну D (AOI 2) привернув перший погляд лише у 10 учасників.

На рис. 5 зображено розподілення часу T_{ff} до першої фіксації у будь-якій зоні AOI для першого експерименту залежно від віку і комп'ютерної грамотності. Час до першої фіксації в AOI 1 був майже вдвічі меншим: медіана T_{ff} становила 3 718 мс порівняно з 6 563 мс для AOI 2. Таким чином, пріоритет розміщення (показник глюкози, розташований вище на екрані) виявився сильнішим за фактор змістової важливості: учасники систематично звертали увагу на глюкозу незалежно від групи, попри те, що відхилення вітаміну D могло бути не менш значущим. Загалом цей екран виявився найзрозумілішим для респондентів: 84% учасників повідомили, що легко або дуже легко знаходили аномальні показники, а 82% легко інтерпретували ступінь їхньої серйозності. Учасники з вищою цифровою грамотністю надавали вищі оцінки за двома пунктами. Водночас вік не мав статистично значущого впливу на об'єктивні метрики погляду, хоча у суб'єктивних оцінках спостерігалася слабка тенденція до гіршого сприйняття інтерфейсу в старшій групі.



Рис. 4. Візуалізація другого айтрекінг експерименту: а — маршрут погляду, б — теплова карта

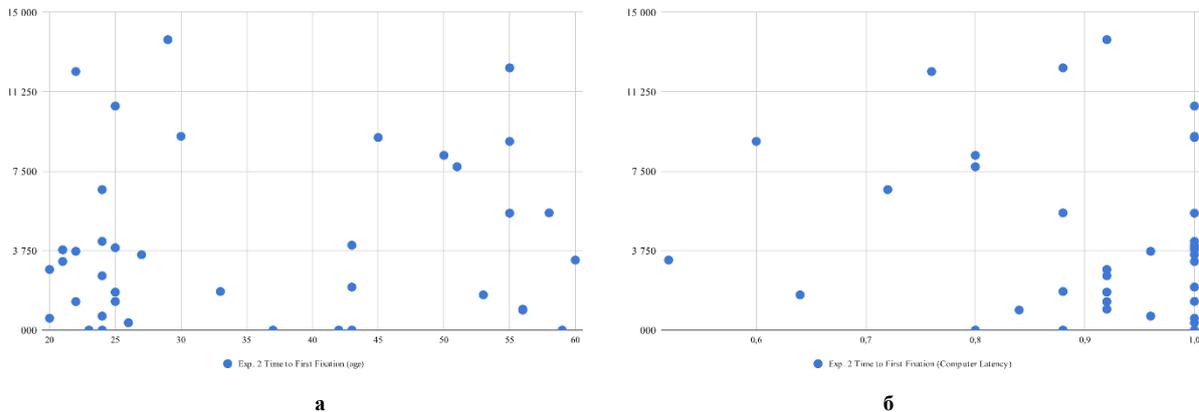


Рис. 5. Розподілення часу до першої фіксації для другого експерименту
а - за віком, б - за комп'ютерною грамотністю

На навігаційному екрані (рис. 6) зафіксували свій погляд на курсорі на мапі лише 54,5% учасників, а на інформаційній панелі — 52,7%; перший погляд розподілився між ними майже порівну (24 проти 19). Проте тривалість перебування в зонах суттєво відрізнялася: учасники дивилися на інформаційну панель значно довше, ніж на курсор (медіана 989 мс проти 603 мс). Числові дані на інформаційній панелі вимагали свідомого опрацювання, тоді як курсор сприймався швидше.

Також був виявлений зв'язок між поведінкою погляду і точністю відповіді. Учасники, яким було зрозуміло поточне місцезнаходження на мапі, провели в зоні курсора майже вдвічі більше часу, ніж ті, кому було важко визначити місцезнаходження (714 мс проти 336 мс).

На рис. 7 зображено розподілення часу T_{ff} до першої фіксації у будь-якій зоні АОІ для першого експерименту залежно від віку і комп'ютерної грамотності. Між групами за рівнем цифрової грамотності виявлено принципово різні стратегії. Учасники з низькою цифровою грамотністю звертали увагу на курсор мапи значно раніше — медіана T_{ff} склала 1206 мс, тоді як у групи з високою цифровою грамотністю медіана T_{ff} — 4652 мс.

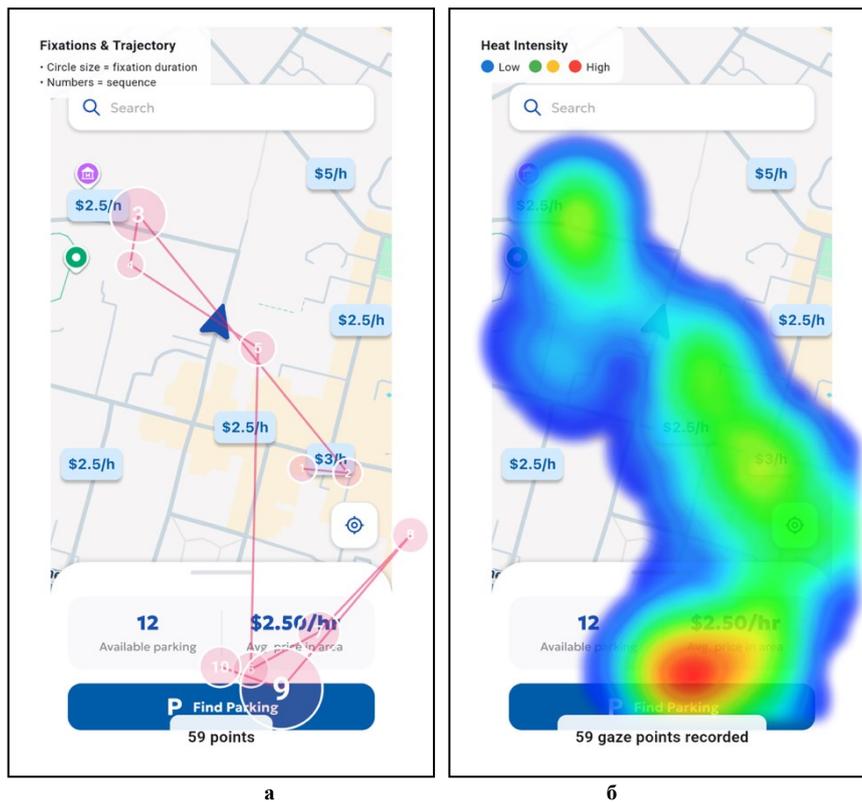


Рис. 6. Візуалізація третього айтрекінг експерименту: а - маршрут погляду, б - теплова карта

Досвідчені користувачі діяли інакше: спочатку уважно читали числові дані на інформаційній панелі, а вже потім зверталися до курсору. Перший погляд на курсор без попереднього зчитування контексту виявився недостатнім для правильного розуміння мапи.

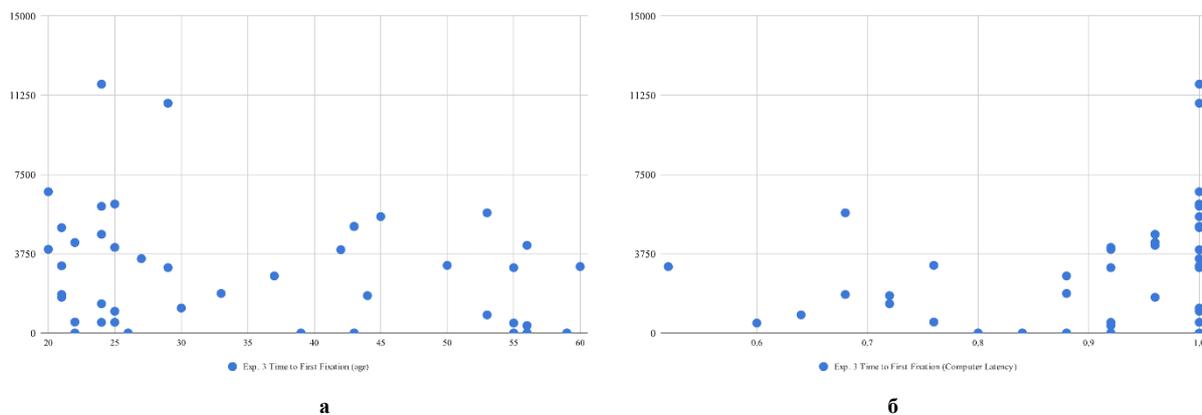


Рис. 7. Розподілення часу до першої фіксації для третього експерименту
а - за віком, б - за комп'ютерною грамотністю

Отримані результати в цілому підтвердили окремі гіпотези дослідження, водночас виявивши ряд закономірностей, які уточнюють наше розуміння того, як вік і цифрова грамотність впливають на взаємодію з мобільними інтерфейсами.

Найстійкіша закономірність у всіх трьох експериментах пов'язана не стільки з характеристиками користувача, скільки з просторовою організацією елементів. На екрані медичних результатів показник глюкози, розташований вище, послідовно привертав перший погляд значно раніше за показник вітаміну D (медіана T_{ff} 3557 мс проти 6461 мс), незалежно від вікової групи та рівня цифрової грамотності. Аналогічно, на картці товару велика зона ціни (AOI 2) фіксувалася першою майже вдвічі частіше, ніж акційна пропозиція (AOI 1). Ці дані узгоджуються з F-подібною моделлю перегляду, що підкреслює: у критичних інтерфейсах (медичних, фінансових, навігаційних) ключову інформацію слід розміщувати у верхній частині видимої області, інакше вона систематично виявлятиметься пізніше користувачами будь-якого профілю.

Гіпотеза про те, що старші користувачі матимуть достовірно довший час до першої фіксації (T_{ff}), не підтвердилася в об'єктивних даних айтрекінгу: статистично значущих вікових відмінностей у жодному з

трьох екранів не виявлено. Проте у суб'єктивних оцінках зручності старші учасники систематично давали гірші оцінки, особливо для першого екрана (пошук ціни та знижки). Це розходження між об'єктивними метриками погляду і суб'єктивним сприйняттям є практично важливим: традиційні показники продуктивності (час завдання, кількість помилок) можуть маскувати вікові відмінності у когнітивному навантаженні. Відповідно, оцінка доступності інтерфейсу виключно на основі поведінкових метрик ризикує недооцінити труднощі старших користувачів. Це узгоджується з висновком [12] про важливість суб'єктивних вимірів у юзабіліті-дослідженнях для вікових груп.

Найбільш виразний ефект цифрової грамотності проявився у навігаційному завданні. Учасники з низькою цифровою грамотністю фіксували курсор на мапі дуже рано (медіана $T_{ff} = 1206$ мс), тоді як учасники з високою цифровою грамотністю спочатку зчитували числові дані інформаційної панелі і лише потім зверталися до курсора (медіана $T_{ff} = 4652$ мс). При цьому саме послідовне зчитування контексту корелювало з правильним розумінням поточного місцезнаходження на карті: учасники, які зрозуміли свою позицію на мапі, провели в зоні курсора майже вдвічі більше часу (714 мс проти 352 мс). Ці дані свідчать про те, що ефективна навігація в інтерфейсі потребує не швидкого реагування на візуальні маркери, а послідовного зчитування контексту. Результат перегукується з висновками [14] щодо відмінностей у патернах погляду між групами з різним рівнем цифрових навичок.

Гіпотеза про взаємодію вікового та цифрового факторів (очікувалось, що найгірші показники матиме група «старший вік + низька цифрова грамотність», а найкращі — «молодший вік + висока цифрова грамотність») в отриманих даних не підтвердилась: відмінності між цими підгрупами за об'єктивними метриками айтрекінгу виявились статистично незначущими в більшості завдань. Відсутність значущої взаємодії між факторами може пояснюватися кількома причинами: відносно невеликим розміром вибірки для чотирифакторного дизайну, достатньо низькою складністю тестових екранів, а також нерівномірним розподілом учасників між підгрупами.

Дослідження демонструє практичність мобільного айтрекінгу на основі фронтальної камери смартфона середнього класу: зібрані дані є достатньо надійними для виявлення стійких патернів уваги на рівні АОІ, попри обмежену точність, притаманну камерним системам. Поєднання кількісних метрик погляду з суб'єктивними оцінками виявилось методологічно продуктивним: у ряді випадків саме анкетування фіксувало відмінності між групами, які не були помітні в даних айтрекінгу. Цей результат підтверджує рекомендації [4] щодо мультиметодного підходу в eye-tracking дослідженнях.

Мобільна eye-tracking система на основі фронтальної камери демонструє нижчу точність порівняно зі стаціонарними пристроями: виявлені ефекти слід інтерпретувати з урахуванням цього методологічного обмеження. Три тестові екрани є типовими, але не вичерпними прикладами мобільних патернів, що також обмежує узагальнення.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

I ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Це дослідження вивчало вплив віку та рівня цифрової грамотності на розподіл візуальної уваги та суб'єктивну зручність при взаємодії з типовими мобільними інтерфейсами за допомогою eye-tracking технології на базі фронтальної камери смартфона. За результатами дослідження 55 учасників у трьох сценаріях можна сформулювати наступні ключові висновки.

По-перше, просторова ієрархія елементів є домінантним фактором розподілу уваги. Розташування інформаційних елементів на екрані послідовно визначало порядок фіксацій незалежно від вікової групи та рівня цифрової грамотності учасників. Цей висновок підкреслює, що у критичних інтерфейсах (медичних, фінансових, навігаційних) пріоритетна інформація повинна розміщуватися у верхній частині видимої зони — інакше вона систематично оброблятиметься пізніше або взагалі залишатиметься поза увагою.

По-друге, вік впливає в більшій мірі на суб'єктивне навантаження, ніж на об'єктивні патерни погляду. Статистично значущих відмінностей між молодшими та старшими учасниками в метриках айтрекінгу виявлено не було. Водночас старші учасники систематично гірше оцінювали зручність інтерфейсу. Це означає, що юзабіліті-оцінки, засновані виключно на поведінкових показниках, можуть недооцінювати когнітивне навантаження у старших користувачів; для повноцінної оцінки необхідні суб'єктивні вимірювання.

По-третє, цифрова грамотність визначає стратегії взаємодії, а не лише швидкість. Найбільш виразний ефект цифрової грамотності проявився у якісних відмінностях послідовності фіксацій: досвідченіші користувачі спочатку зчитували контекстну інформацію і лише потім зверталися до елемента дії, що корелювало з правильним розумінням інтерфейсу. Цей результат указує на необхідність проектування інтерфейсів, які підтримують послідовне зчитування контексту, а не лише швидкий доступ до елементів управління.

По-четверте, мобільний eye-tracking на основі фронтальної камери смартфона середнього класу є практично придатним інструментом для дослідження АОІ-рівня. Зібрані дані виявились достатньо надійними для виявлення стійких патернів уваги та міжгрупових відмінностей у стратегіях взаємодії. Це відкриває

можливості для проведення масштабних польових досліджень без необхідності у дорогому спеціалізованому обладнанні.

По-п'яте, поєднання айтрекінгу з суб'єктивними оцінками є методологічно продуктивним: у частині результатів анкетування фіксувало відмінності між групами, які не виявлялися в об'єктивних метриках погляду. Це підтверджує доцільність мультиметодного підходу під час проведення дизайн-досліджень.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на збільшення вибірки для надійного аналізу взаємодій між факторами (вік/цифрова грамотність), розширення набору патернів, а також порівняльний аналіз точності систем, що використовують камери смартфонів і стаціонарних трекерів у польових умовах.

Література

1. Chiriboga-Casanova W., Medina-Medina N., Paderewski-Rodríguez P. Accessible web design for older adults: challenges and solutions. *ACM transactions on accessible computing*. 2025. <https://doi.org/10.1145/3763243>
2. Using eye-tracking data to examine response processes in digital competence assessment for validation purposes / J. Bartolomé та ін. *Applied sciences*. 2025. Т. 15, № 3. С. 1215. <https://doi.org/10.3390/app15031215>
3. Implementing mobile eye tracking in psychological research: a practical guide / X. Fu та ін. *Behavior research methods*. 2024. <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02473-6>
4. The fundamentals of eye tracking part 2: from research question to operationalization / I. T. C. Hooge та ін. *Behavior research methods*. 2025. Т. 57, № 2. <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02590-2>
5. The fundamentals of eye tracking part 1: the link between theory and research question / R. S. Hessels та ін. *Behavior research methods*. 2024. Т. 57, № 1. <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02544-8>
6. The fundamentals of eye tracking part 3: how to choose an eye tracker / M. Nyström та ін. *Behavior research methods*. 2025. Т. 57, № 2. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02587-x>
7. The fundamentals of eye tracking part 4: tools for conducting an eye tracking study / D. C. Niehorster та ін. *Behavior research methods*. 2025. Т. 57, № 1. <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02529-7>
8. The fundamentals of eye tracking part 5: the importance of piloting / R. S. Hessels та ін. *Behavior research methods*. 2025. Т. 57, № 8. <https://doi.org/10.3758/s13428-025-02737-9>
9. CalibRead: unobtrusive eye tracking calibration from natural reading behavior / C. Liu та ін. *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies*. 2024. Т. 8, № 4. С. 1–30. <https://doi.org/10.1145/3699737>
10. GazeFollower: an open-source system for deep learning-based gaze tracking with web cameras / G. Zhu та ін. *Proceedings of the ACM on computer graphics and interactive techniques*. 2025. Т. 8, № 2. С. 1–18. <https://doi.org/10.1145/3729410>
11. When is enough enough? Empirical guidelines to determine participant sample size for scene viewing studies / A. J. Hoogerbrugge та ін. *Behavior research methods*. 2025. Т. 57, № 9. <https://doi.org/10.3758/s13428-025-02754-8>
12. Yu J. E., Chattopadhyay D. Reducing the search space on demand helps older adults find mobile UI features quickly, on par with younger adults. *CHI '24: CHI conference on human factors in computing systems*, м. Honolulu HI USA. New York, NY, USA, 2024. <https://doi.org/10.1145/3613904.3642796>
13. Shoenfelt A., Isaacowitz D. M., Ebner N. C. Eye tracking in aging: challenges, best practices, and novel frontiers. *ACM transactions on applied perception*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1145/3733834>
14. Steinfeld N., Lev-On A., Abu-Kishk H. Measuring digital literacy with eye tracking: an examination of skills and performance based on user gaze. *Aslib journal of information management*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/ajim-04-2023-0120>
15. Usability and user experience of an mhealth app for therapy support of breast cancer patients: a mixed-methods approach using eye-tracking (preprint) / C. Anders та ін. *JMIR human factors*. 2023. <https://doi.org/10.2196/50926>
16. Auxiliary diagnosis of children with attention-deficit/hyperactivity disorder: an eye-tracking study with novel digital biomarkers (preprint) / Z. Liu та ін. *JMIR mHealth and uHealth*. 2024. <https://doi.org/10.2196/58927>
17. Eyedid SDK: the gaze tracker. *Eyedid SDK | For Developer*. URL: <https://sdk.eyedid.ai/>
18. Prolific | Easily collect high-quality data from real people. *Prolific*. URL: <https://www.prolific.com/>

References

1. Chiriboga-Casanova W., Medina-Medina N., Paderewski-Rodríguez P. (2025) Accessible web design for older adults: challenges and solutions. *ACM Transactions on Accessible Computing*. available at: <https://doi.org/10.1145/3763243>
2. Bartolomé J. et al. (2025) Using eye-tracking data to examine response processes in digital competence assessment for validation purposes. *Applied Sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 1215. available at: <https://doi.org/10.3390/app15031215>
3. Fu X. et al. (2024) Implementing mobile eye tracking in psychological research: a practical guide. *Behavior Research Methods*. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02473-6>
4. Hooge I. T. C. et al. (2025) The fundamentals of eye tracking part 2: from research question to operationalization. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 2. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02590-2>
5. Hessels R. S. et al. (2024) The fundamentals of eye tracking part 1: the link between theory and research question. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 1. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02544-8>

6. Nyström M. et al. (2025) The fundamentals of eye tracking part 3: how to choose an eye tracker. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 2. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02587-x>
7. Niehorster D. C. et al. (2025) The fundamentals of eye tracking part 4: tools for conducting an eye tracking study. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 1. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-024-02529-7>
8. Hessels R. S. et al. (2025) The fundamentals of eye tracking part 5: the importance of piloting. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 8. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-025-02737-9>
9. Liu C. et al. (2024) CalibRead: unobtrusive eye tracking calibration from natural reading behavior. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, vol. 8, no. 4, pp. 1–30. available at: <https://doi.org/10.1145/3699737>
10. Zhu G. et al. (2025) GazeFollower: an open-source system for deep learning-based gaze tracking with web cameras. *Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques*, vol. 8, no. 2, pp. 1–18. available at: <https://doi.org/10.1145/3729410>
11. Hoogerbrugge A. J. et al. (2025) When is enough enough? Empirical guidelines to determine participant sample size for scene viewing studies. *Behavior Research Methods*, vol. 57, no. 9. available at: <https://doi.org/10.3758/s13428-025-02754-8>
12. Yu J. E., Chattopadhyay D. (2024) Reducing the search space on demand helps older adults find mobile UI features quickly, on par with younger adults. *CHI '24: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, Honolulu, HI, USA. available at: <https://doi.org/10.1145/3613904.3642796>
13. Shoenfelt A., Isaacowitz D. M., Ebner N. C. (2025) Eye tracking in aging: challenges, best practices, and novel frontiers. *ACM Transactions on Applied Perception*. available at: <https://doi.org/10.1145/3733834>
14. Steinfeld N., Lev-On A., Abu-Kishk H. (2023) Measuring digital literacy with eye tracking: an examination of skills and performance based on user gaze. *Aslib Journal of Information Management*. available at: <https://doi.org/10.1108/ajim-04-2023-0120>
15. Anders C. et al. (2023) Usability and user experience of an mHealth app for therapy support of breast cancer patients: a mixed-methods approach using eye-tracking (preprint). *JMIR Human Factors*. available at: <https://doi.org/10.2196/50926>
16. Liu Z. et al. (2024) Auxiliary diagnosis of children with attention-deficit/hyperactivity disorder: an eye-tracking study with novel digital biomarkers (preprint). *JMIR mHealth and uHealth*. available at: <https://doi.org/10.2196/58927>
17. Eyedid SDK (2026) The gaze tracker, available at: <https://sdk.eyedid.ai/>
18. Prolific (2026) Easily collect high-quality data from real people, available at: <https://www.prolific.com/>