

Anna Stolińska

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, e-mail: anna.stolinska@up.krakow.pl

Magdalena Andrzejewska

Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie, Wydział Matematyczno-Fizyczno-Techniczny, e-mail: mandrzej@up.krakow.pl

Metodologiczne aspekty stosowania techniki eye trackingowej w badaniach edukacyjnych

DOI: <http://dx.doi.org/10.12775/PBE.2017.015>

Methodological Aspects of Using Eye Tracking Technology in Educational Research

Abstract

Educational studies focus on multidimensional learning and teaching processes and require the use of complex research methods for that reason.

The development of new technologies and the increasing availability of equipment that previously was used in medical and biological science, enable extending a set of traditional social and humanities sciences research methods. These new technologies allow for the verification of the information obtained as a result of carrying out the diagnostic survey for example. One of these is eye tracking, a technique of tracking of eye movements that allows to infer about cognitive processes related to learning.

This paper discusses the issue of application of the eye tracking technology in educational research. The article presents, inter alia, the most important research procedure assumptions, the qualitative and quantitative analysis methods of the eye movements measurement data, and the advantages and limitations of this technique.

Key words: eye tracking, research methodology, cognitive processes, learning, qualitative and quantitative analysis.

Wprowadzenie

Okulografia (ang. *eye tracking*) jest techniką śledzenia ruchów oczu, znaną i stosowaną w badaniach naukowych od ponad stu lat. Pierwsze obserwacje aktywności wzrokowej dokonywane były bez użycia przyrządów i dotyczyły głównie zagadnień z zakresu fizjologii widzenia, ale już pod koniec XIX wieku zaczęto stosować aparaturę, która umożliwiła rejestrowanie i dokonywanie pomiarów zmian położenia gałek ocznych i punktów skupienia wzroku na prezentowanym bodźcu wizualnym. Na wzrost popularności tej techniki badawczej duży wpływ miały badania psychologów, którzy dowodzą, iż ruch oczu może odzwierciedlać trudno mierzalne procesy poznawcze takie jak nabywanie i przetwarzanie informacji czy uwaga wzrokowa (Krejtz i in., 2008). Procesy te są ściśle związane z uczeniem się, w którym coraz większą rolę odgrywają informacje wizualne, dominujące obecnie między innymi w kanałach komunikacyjnych takich jak sieć internetowa czy innych mediach audiowizualnych.

Aktywność uwagi wzrokowej realizuje się poprzez różne kategorie ruchów oczu, zdeterminowane eksploracyjnym lub penetracyjnym rodzajem procesu uwagowego (Młodkowski, 2008). W obu przypadkach zachodzi selekcja bodźców wizualnych odbieranych za pośrednictwem systemu wzrokowego i stąd istotne staje się poznanie podstawowych charakterystyk ruchów oczu. Zalicza się do nich:

- fiksacje, czyli względnie stabilne skupienie wzroku na elemencie oglądanego obrazu (tak zwanej sceny wizualnej). Przyjmuje się, że w czasie tej fazy bezruchu, trwającej przeciętnie od około 0,15 do 1,5 sekundy (ustalono, że na przykład w trakcie czytania średnio w ciągu sekundy zachodzą trzy fiksacje, co oznacza, że trwają średnio około 250–300 milisekund), następuje odbiór bodźca wzrokowego, czyli percepcja informacji (Rayner, 1998). Badania wskazują, że im dłuższy średni czas fiksacji, tym głębsze jest przetwarzanie danych sensorycznych. Wykazano również, że krótsze średnie czasy fiksacji są związane pobieraniem informacji z bardziej złożonych, bogatszych w detale obrazów. Istotnym wskaźnikiem dla badaczy jest również czas, po którym następuje pierwsza fiksacja, pozwala bowiem ocenić zdolność danego elementu sceny wizualnej do skupiania uwagi. Liczba fiksacji jest także indykatorem zainteresowania obrazem i może oznaczać albo wzrost trudności w rozpoznaniu umieszczonych na nim elementów, albo szczególną ważność tego obszaru dla uchwycenia sensu danej treści wizualnej. Uważa się również, że wyższa częstotliwość fiksacji może być wskaźnikiem pobu-

- dzenia emocjonalnego, wynikającego na przykład z wykonywania zadania pod presją czasową lub silnej potrzeby zidentyfikowania trudnej do rozpoznania rzeczy w oglądanym fragmencie obrazu (Francuz, 2015);
- sakkady, czyli skokowe zmiany położenia oczu, wyzwalane w sposób intencjonalny lub odruchowy, podczas których następuje obniżenie wrażliwości wzrokowej (przyjmuje się, że w trakcie tego ruchu oczu nie są pobierane informacje wizualne). Sakkady są postrzegane jako najszybsze ruchy, jakie może wykonać nasze ciało (prędkość maksymalna osiąga nawet 500 stopni na sekundę). Ruch o amplitudzie 15 stopni trwa około 50 ms, natomiast dla amplitudy wynoszącej 1 stopień wynosi już tylko 25 ms (Ober i in., 2009). Uważa się, że analiza ruchów sakkadowych umożliwia wyciąganie wniosków na temat procesów decyzyjnych, które towarzyszą celowej, ukierunkowanej na znalezienie użytecznych informacji eksploracji otoczenia. Analizuje się między innymi liczbę tak zwanych sakkad powrotnych, czyli wielokrotnego przenoszenia wzroku na oglądany już wcześniej fragment sceny wizualnej, świadczą bowiem one o trudności z odczytaniem sensu oglądanego obrazu (Francuz, 2015). Sakkady uznaje się również za wskaźnik wrażliwy na zmiany obciążenia poznawczego – zaobserwowano przykładowo, że maksymalna wartość prędkości sakkad zmniejsza się wraz z rosnącą liczbą przetwarzanych bodźców (Di Stasi i in., 2010).

Badacze analizują również zmiany szerokości źrenic (ich zwężanie lub rozszerzanie), ponieważ ich reakcja może być także wskaźnikiem obciążenia pamięci roboczej. Między innymi zaobserwowano, że im większy jest wysiłek umysłowy i większe przetwarzanie, tym większa jest również średnica źrenicy (Harej, 2014). Okulografia umożliwia także pomiar mrugnięć, które mogą być związane z postrzeganiem i przetwarzaniem informacji. Badania wykazały, że aktywność umysłowa może w zasadniczy sposób zmieniać częstotliwość mrugania – na przykład rozmowa i werbalne przypominanie mogą zwiększyć częstość mrugania, natomiast czytanie radykalnie ją zmniejsza. Można zatem wnioskować, że większy wysiłek poznawczy wiąże się ze zmniejszeniem liczby mrugnięć, przy czym należy podkreślić, że parametry mrugnięć zależą od specyfiki zadania i związanych z nim swoistych procesów przetwarzania informacji (Tanaka i Yamaoka, 2013).

Pomiar opisanych powyżej wskaźników psychofizjologicznych i ich analiza pozwala wnioskować o procesach poznawczych ściśle związanych z uczeniem się – percepcji wzrokowej i uwagi, odpowiedzialnej za selekcję informacji, zapobiegającej negatywnym skutkom przeciążenia systemu poznawczego.

Eye tracking w badaniach edukacyjnych

Uczenie się jest procesem, w którym wzrokowe spostrzeganie odgrywa ogromną rolę. I. Pulak i M. Wieczorek-Tomaszewska twierdzą, że obecnie większość materiałów edukacyjnych jest konstruowanych w postaci wizualnej, czemu sprzyja rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych i łatwość tworzenia oraz rozpowszechniania zdigitalizowanych zasobów kształceniowych. Zasadne wydaje się stwierdzenie, że powstały doskonałe warunki do spopularyzowania obrazu jako jednego z podstawowych nośników treści edukacyjnych (Pulak i Wieczorek-Tomaszewska, 2012). Ten fakt zainspirował wielu badaczy do prowadzenia badań okulograficznych, które charakteryzują się szerokim spektrum tematycznym i dotyczą takich zagadnień, jak:

- optymalizacja materiałów edukacyjnych przedstawianych w formie wizualnej na przykład w zakresie ich merytorycznego przekazu, tematyki ilustracji, ich lokalizacji w stosunku do tekstu, kolorystyki. Eksperyment dotyczący tej problematyki, którego celem była analiza specyfiki percepcji materiału o charakterze tekstowo-obrazowym oraz dźwiękowo-wizualnym przez dzieci siedmio- i ośmioletnie, przeprowadzili Nowakowska-Buryła i Joński (2012). Wyniki tych badań dostarczyły autorom podstaw do sformułowania wskazówek dotyczących konstruowania multimedialnych materiałów dydaktycznych. Zalecają oni między innymi, aby w części środkowej prezentacji (planszy) umieszczać elementy, które odbiorca ma dostrzec jako pierwsze oraz ograniczać elementy dystrakcyjne, a takim może być np. kolorowe tło. Ponadto zwracają uwagę na fakt, że dodawanie komentarzy dźwiękowych do slajdów wiąże się z tendencją odbiorców do pomijania pól tekstowych w procesie wzrokowego skanowania planszy (odbiorcy uważają, że tekst zawiera te same informacje, które przekazywane są w komentarzu dźwiękowym). Wyniki badań nad omawianymi zagadnieniami prowadzone przez Liu i Chuang (2010) wykazały, że gdy ilustracje i powiązany z nimi tekst są prezentowane obok siebie na planszy, uczestnicy zazwyczaj wykorzystują tekst jako główny (pierwszy) nośnik informacji pozwalający na zrozumienie treści. Podział informacji tekstowych na małe segmenty przeplatane obrazami również nie wpływa na rozpoczęcie analizy materiału od elementów graficznych. Ponadto, zdaniem badaczy, charakter ilustracji może mieć również wpływ na skuteczne przetwarzanie informacji multimedialnych. Uczestnicy badań częściej odwoływali się do ilustracji bogatych w szczegóły, odszukując wśród

składników informacji obrazowej tych powiązanych z wcześniej odczytanymi z tekstu. Powyższe odkrycia sugerują, że ilustracje zamieszczone w materiałach edukacyjnych powinny być szczegółowe i jest to istotne zwłaszcza wówczas, gdy służą jako uzupełnienie treści tekstowych. Liu i Chuang rekomendują również rozważne wzbogacanie przekazu multimedialnego elementami graficznymi, które nie wnoszą informacji merytorycznych, a stanowią jedynie „ozdobniki”, ponieważ odciągają one uwagę uczących się od istotnych elementów oraz zwiększają obciążenie poznawcze;

- efektywność i strategie uczenia się w oparciu na mapach koncepcyjnych, schematach pojęciowych oraz nieliniowych układach tekstu (organizację danych w postaci niezależnych leksji połączonych hiperłączami, tak zwany hipertekst). Wykazano między innymi, jak duży wpływ na sprawne ustalanie relacji semantycznych pomiędzy pojęciami oraz poprawę spójności nawigacji w trakcie odczytywania hipertekstu ma wiedza bazowa uczniów (Amadiou i in., 2015). Przeprowadzane są również eksperymenty, w których analizuje się zmianę dynamiki uwagi wzrokowej w trakcie nabywania informacji z hipertekstu (Krejtz i in. 2015). Wyniki badań Krejtza i współpracowników (2015) osadzone były w „teorii obciążenia poznawczego oraz koncepcji minimalnego wysiłku poznawczego w trakcie uczenia się”. Badacze wykazali zmiany parametrów okulograficznych takich jak długość fiksacji, długość sakkady oraz wielkość źrenicy w trakcie czytania hipertekstu w porównaniu z tradycyjnym tekstem liniowym. Efekt ten został zinterpretowany jako zmniejszenie się zaangażowania poznawczego i związany jest, zdaniem autorów badań, z koniecznością podejmowania decyzji w trakcie nawigacji po hipertekście oraz potrzebą strukturalizacji przetwarzanych informacji. Warto również zaznaczyć, że w badaniach tych nie zauważono istotnych różnic w efektach uczenia się w obu rozpatrywanych warunkach (przypadkach);
- proces czytania – wpływ częstotliwości słów, ich trudność, semantyczne znaczenie czy zjawisko przewidywania i skanowania treści na proces zrozumienia tekstu (Knight i in., 2014). Przeprowadzono między innymi badania wpływu spójności tekstu na umiejętność jego zapamiętania i zrozumienia (Vauras i in., 1992) czy też analizowano wpływ zdań wprowadzających nowy temat w tekście lub nagłówków na proces czytania (Hyönä i Lorch, 2004). W eksperymencie badaczy fińskich Vaurasa, Hyönä i Niemi (1992) uczestnicy czytali spójne lub niespójne lo-

gicznie teksty (niespójność wprowadzano zmieniając sekwencje zdań w tekście). Analiza zebranych danych okoruchowych wykazała, że materiały badawcze zawierające strukturalnie niespójne fragmenty tekstu powodowały większą liczbę sakkad powrotnych oraz że segmenty tekstu, które rozstrzygały niespójność, skupiały większą uwagę badanych (zaobserwowano większą liczbą fiksacji) w stosunku do tych samych, spójnie przekazywanych treści. Odkryto również, że niespójność tekstu doprowadziła do gorszego zapamiętywania treści. Ponadto nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy parametrami ruchu oczu a ilościowymi miarami efektywności czytania. Z kolei uczestnicy badań prowadzonych przez Hyönä i Lorch (2004) czytali dwa teksty, w których nowe tematycznie treści były (lub nie były) sygnalizowane przez obecność nagłówków. Tak jak założono, obecność nagłówków ułatwiała proces zrozumienia treści i zapamiętywanie tematów umieszczonych w czytanim tekście - wpłynęła na zwiększenie liczby zagadnień wymienianych przez badanych w streszczeniach pisanych przez nich na zakończenie eksperymentu. Według autorów badań, nagłówki działają jak sygnalizatory, które wpływają na tworzenie się „ram umysłowych”, w obrębie których informacje tekstowe są integrowane;

- przetwarzania informacji i procesy związane z uwagą wizualną – jak kierowana jest uwaga podczas analizy sceny wizualnej oraz różnice w strategiach eksploracji treści (również zilustrowanych) pomiędzy nowicjuszami i ekspertami (Stolińska i in., 2014). W pracy Stolińskiej i współautorów (2014) weryfikowano hipotezę o istnieniu różnic w parametrach ruchów sakkadowych pomiędzy grupą ekspertów i nowicjuszy podczas rozwiązywania zadań z przedmiotów ścisłych (fizyka, matematyka, informatyka). Analiza parametrów sakkad pozwoliła zaobserwować różnice w sposobach eksploracji sceny wizualnej, a tym samym uwidoczniła inne strategie rozwiązywania zadań przez nowicjuszy i ekspertów. Uzyskane wyniki potwierdziły przypuszczenie, że sakkady o długich amplitudach charakteryzują ekspertów, którzy realizowali tak zwane globalne strategie analizowania zadań, natomiast nowicjusze – lokalne (zaobserwowano krótsze średnie amplitudy sakkad). Nurt badań, w których porównuje się aktywność wzrokową specjalistów (profesjonalistów) oraz osoby początkujące, nabywające wiedzę w danej dziedzinie, jest szczególnie intensywnie eksplorowany przez niemieckich i holenderskich badaczy, między innymi w kontekście analizy złożonych, dynamicznych komponentów wizualnych (van Gog i in.,

2009; Jarodzka, 2010). Badania zespołu Van Gog (2009) pokazały, że postępowanie (strategie koncepcyjne) stosowane przez ekspertów mogą posłużyć jako wzorzec w procesie uczenia się nowicjuszy (kierowanie uwagą nowicjuszy w oparciu o schemat ruchu oczu ekspertów). W eksperymencie przeprowadzonym przez zespół Jarodzkiej (2010) grupa ekspertów (siedmiu profesorów i doktorantów) oraz grupa nowicjuszy (14 studentów zoologii morskiej) oglądała bez ograniczeń czasowych filmy i dokonywała na tej podstawie klasyfikacji ruchów ryb pływających w rafie koralowej. W kolejnym kroku badani oglądali nagrania z zapisem okulograficznym własnych obserwacji oraz opisywali (relacjonowali) jednocześnie swój tok rozumowania podczas pierwszego etapu. Pod względem efektywności wykonania zadania eksperci wyraźnie przewyższali nowicjuszy – szybciej i trafniej dokonywali identyfikacji, ponadto charakteryzowali się bardziej zróżnicowanymi sekwencjami skanowania obrazu związanymi najprawdopodobniej z różnymi mechanizmami nabywania doświadczenia. W konkluzji swojej pracy autorzy wskazali, na jakie aspekty należy zwrócić szczególną uwagę, aby zachowania ekspertów (zapis aktywności wzrokowej oraz ich retrospektywne relacje słowne) mogły służyć nowicjuszom jako wzorcowe modele skutecznych strategii analizy zwizualizowanych zadań;

- zastosowanie eye trackingu w projektowaniu adaptatywnych systemów kształcenia zdalnego (dostosowujących się dynamicznie do użytkowników) oraz inteligentnych systemów tutorialnych, których zadaniem jest między innymi wykrywanie stanu zaangażowania osób kształcących się e-learningowo (w szczególności ich zaciekawienia i znudzenia), a w konsekwencji wsparcie procesów samoregulowanego uczenia się (Jacques, 2014; Gütl, 2005). Przykładem takiego środowiska wykorzystującego w czasie rzeczywistym analizę aktywności oczu w celu uzyskania precyzyjniejszych informacji o stanie poznawczym użytkowników jest system AdeLE (Adaptive e-Learning with Eye-Tracking);
- różne aspekty procesu rozwiązywania zadań (Błasiak i in., 2015), w tym poszukiwania okulograficznych wskaźników stopnia trudności zadań oraz związków tych wskaźników z kryteriami subiektywnymi (ocena dokonywana przez uczniów) i behawioralnymi (odsetek poprawnych rozwiązań) (Susac i in., 2014; Andrzejewska i Stolińska, 2016). Doniesienia z badań Błasiaka i współautorów (2015) potwierdziły, że silnymi atraktorami wzrokowymi w graficznych zadaniach z fizyki są punkty przecięcia wykresów. Według Susac i współautorów (2014), którzy

rejestrowali aktywność okoruchową studentów podczas rozwiązywania prostych równań algebraicznych, liczba fiksacji jest wiarygodnym i czułym parametrem, który wnosi istotną informację o rozkładzie uwagi badanych w trakcie wykonywania zadania oraz wiąże się z jego efektywnością. Andrzejewska i Stolińska (2016) badały problem dotyczący istnienia różnic w parametrach okulograficznych uczniów podczas rozwiązywania zadań z nauk ścisłych i przyrodniczych (matematyka, fizyka, biologia, informatyka). Wyniki tych badań wskazały na istotną i dosyć silną korelację pomiędzy poziomem trudności zadań wyznaczonym na podstawie odsetka poprawnych odpowiedzi i parametrami fiksacji, nie zaobserwowano natomiast takiego związku z parametrami mrugnięć. Nie stwierdzono również korelacji parametrów aktywności ruchu oczu uznawanych za wskaźniki wysiłku umysłowego z opinią uczniów o poziomie trudności zadań. Za najbardziej wiarygodny okulograficzny wskaźnik stopnia trudności zadań uznano średnie czasy fiksacji.

Jak zauważają autorzy przeglądowego opracowania ponad osiemdziesięciu publikacji dotyczących zastosowania techniki eye trackingowej w badaniach edukacyjnych, w dalszym ciągu eksploracji wymagają takie zagadnienia jak: rozumowanie, nabywanie (uczenie się) umiejętności czy teoria społecznego uczenia się (Lai i in., 2013).

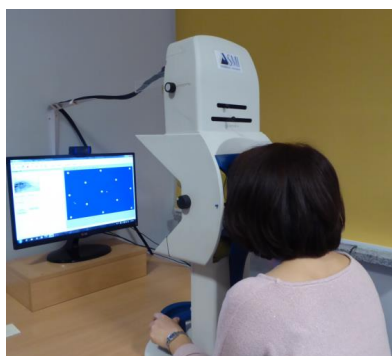
Opis metody badawczej z zastosowaniem techniki eye trackingowej

Narzędzia badawcze

Działanie większości z ogólnie dostępnych obecnie na rynku eye trackerów polega na lokalizowaniu miejsca, w którym osoba badana skupia wzrok, poprzez skierowanie na gałkę oczną światła podczerwonego (nieszkodliwego dla oka i niewidocznego dla człowieka) oraz dokonywaniu pomiaru pozycji względnych źrenicy oka, a czasem także tak zwanego *corneal reflection* – odbicia światła na rógówce oka. Odbicia te są rejestrowane przy użyciu specjalnych czujników lub kamer.

Technologiczne specyfikacje urządzeń okulograficznych dostępnych na rynku są różnorodne, jednak do większości badań w zakresie interakcji człowiek–komputer wystarczającą częstotliwością pomiaru jest już 60 Hz (jest to liczba pomiarów położenia wzroku dokonywana w ciągu sekundy). Do badań nad tekstem czytany wymagana częstotliwość jest o wiele większa i uznaje się, że powinna wynosić około 500 Hz lub więcej (Pool i Ball, 2005).

W celu przeprowadzania badań wykorzystuje się trzy podstawowe rodzaje eye trackerów: naglewne (w formie okularów), które są w pełni mobilne i mogą służyć do przeprowadzania badań w naturalnym środowisku (np. w klasie, w sklepie, na ulicy). Typowa częstotliwość pomiarów dla tych urządzeń to 30 lub 60 Hz. Drugi rodzaj urządzeń, które można uznać za częściowo mobilne, ponieważ ich przeniesienie i zainstalowanie np. w pracowni komputerowej nie sprawia problemów, to eye trackery typu *remote*. Są to niewielkie urządzenia, które umożliwiają naukowcom prowadzenie badań w kilku konfiguracjach: jako element zintegrowany z monitorem komputera, ustawiony przy laptopie, telewizorze lub ekranie projekcyjnym. Najnowsze urządzenia tego rodzaju mogą dokonywać pomiarów z częstotliwością 500 Hz. Trzeci rodzaj eye trackerów jest całkowicie stacjonarny, zaopatrzone w specjalną konstrukcję interfejsu, która pozwala na stabilne utrzymywanie głowy w bezruchu, bez ograniczania pola widzenia badanego (patrz Rysunek 1). Urządzenia te charakteryzuje wysoka częstotliwość pomiarów (nawet powyżej 1250 Hz) i są one wykorzystywane w badaniach z zakresu psycholingwistyki, neuropsychologii, psychologii, oftalmologii. Stanowisko badawcze jest podobne do urządzeń używanych przez okulistów. Uczestnik badania opiera głowę na statywie, którego położenie (wysokość) może być regulowane. Badacz ma także możliwość ustawiania ostrości oraz kontrastu obrazu na kamerze oraz przesuwania kamery w górę, w dół i na boki. Pozwala to na przygotowanie osoby biorącej udział w eksperymencie do badania i umożliwia uzyskanie dokładnych wyników pomiarów. Oprogramowanie umożliwia podgląd obrazu oka badanego, co pomaga podczas kalibrowania urządzenia przed badaniem.



Rysunek 1. Stanowisko badawcze (eye tracker stacjonarny)

Źródło: opracowanie własne.

Wybór urządzenia zależy od celu badań i miejsca ich przeprowadzania. W przypadku badań edukacyjnych optymalne wydaje się urządzenie typu *remote*, które w razie potrzeby można umieścić w klasie. Najnowsze urządzenia umożliwiają przeprowadzenie automatycznej kalibracji (dostosowanej do badania dzieci) w kilka sekund, a system utrzymuje jej efekt w trakcie trwania całego eksperymentu. Kalibracja urządzenia polega na wyświetlaniu uczestnikowi badań kolejno podświetlających się kropek (lub innych znaków graficznych) na ekranie. Zadaniem osoby badanej jest wodzenie wzrokiem za tymi podświetleniami. W dobrej kalibracji mogą przeszkadzać okulary lub szkła kontaktowe, ponieważ zakłócają one prawidłowy przebieg wiązki światła podczerwonego. Akceptowany poziom kalibracji powinien dopuszczać odchylenia nie większe niż 0,5 stopnia.

Do analizy danych używa się autorskich aplikacji lub oprogramowania rozpowszechnianego w otwartym modelu (jako przykład można podać program Ogama – darmowy, napisany w C# .NET) lub też zamkniętym, dystrybuowanym przez producentów sprzętu (jest nim przykładowo oprogramowanie SMI BeGaze™, które umożliwia przedstawienie wyników w postaci wizualnej i liczbowej, z funkcją filtrowania, uwzględnieniem danych grupowych i randomizacyjnych).

Postępowanie badawcze wykorzystujące technikę eye trackingową

Procedura badawcza, w której zaplanowano przeprowadzenie badań okulograficznych, wymaga odpowiedniego przygotowania materiału badawczego, w szczególności należy uwzględnić aspekty techniczne prezentowanych obrazów – ich jakość (rozdzielczość), kolorystykę, rozkład przestrzenny składowych elementów. Większość systemów okulograficznych umożliwia wykorzystanie zarówno obrazów statycznych jak i materiałów video. Ze względu na to, że analiza treści dynamicznych jest bardziej złożona (może wymagać na przykład sekwencjonowania obrazu i dokonywania odczytu wskaźników okoruchowych dla poszczególnych klatek) – jeśli to możliwe, warto zastępować je treściami wizualnymi pozbawionymi animacji.

Zadania, które w trakcie badań wykonuje ich uczestnik (nawet te proste, polegające jedynie na oglądaniu wyświetlanych obrazów), nie powinny zajmować zbyt dużo czasu. Z uwagi na to, że podczas pracy przed monitorem zalecane jest zmienianie pozycji co około 15 minut, wskazane jest, by badanie nie zajmowało znacznie większej ilości czasu.

Projektowanie badania wygląda podobnie jak w popularnym programie do tworzenia prezentacji, Power Point firmy Microsoft. Badacz przygotowuje sekwencję slajdów (jednostronicowych plików PDF, grafik, filmów czy

stron WWW) i ustala, czy chce, by wyświetlanie kolejnych scen następowało po kliknięciu myszką, czy też ich zmiana ma następować automatycznie, po ustalonym czasie. Niektóre systemy przeznaczone do planowania badania pozwalają również dodawać slajdy zawierające testy – pytania z odpowiedziami do wyboru, których wskazanie następuje po kliknięciu myszką. Możliwe jest również (i zalecane) planowanie dodatkowych kalibracji w trakcie badania.

Przygotowany materiał badawczy jest pokazywany na ekranie ustawionym przed uczestnikiem badania, przy czym po odpowiednim skonfigurowaniu wykorzystywanej aparatury badacz ma możliwość podglądania wyświetlanego obrazu na własnym monitorze. Po zakończeniu badania wynik jest zapisywany na dysku komputera w celu późniejszej jego analizy.

W badaniach społecznych (i w szczególności edukacyjnych) pomiar aktywności wzrokowej bez uzyskania od uczestników eksperymentów dodatkowych informacji za pośrednictwem wywiadu czy ankiety wydaje się znacząco obniżać wartość poznawczą takich eksploracji. I chociaż najlepszym rozwiązaniem wydaje się zadawanie pytań w trakcie oglądania przez badanych treści wizualnych, to z uwagi na to, że rozmowa powoduje wykonywanie dodatkowych ruchów głową, lepszym rozwiązaniem wydaje się wyświetlanie pytań sondażowych na ekranie. Uczestnik badań może wówczas wskazywać myszką wybraną przez siebie odpowiedź. To rozwiązanie ma jednak pewne ograniczenie – nie pozwala na uzyskiwanie odpowiedzi na pytania otwarte. W sytuacji, gdy konieczne jest uzyskanie informacji zwrotnej sformułowanej przez uczestnika badań, zaleca się przeprowadzenie wywiadu lub przedstawienie mu do wypełnienia kwestionariusza ankiety bezpośrednio po zrealizowanym badaniu.

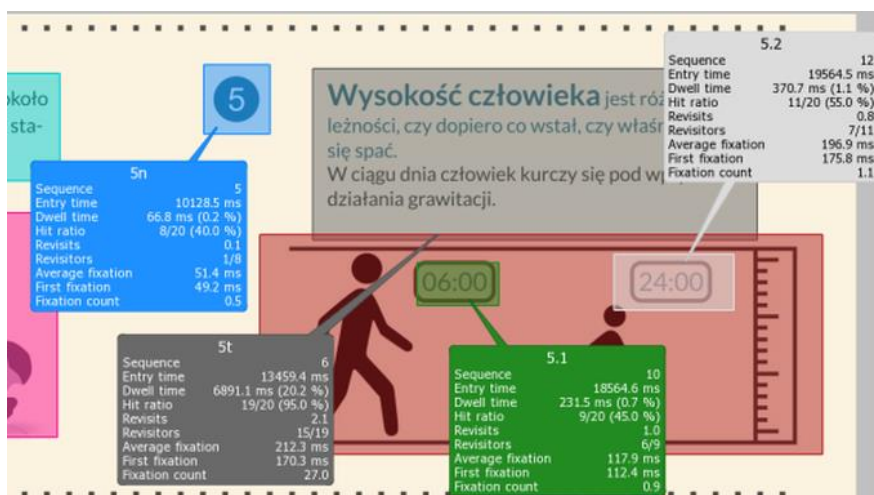
Z doświadczeń autorek wynika, że ważnym elementem badań jest odpowiednio przygotowanie uczestników badania. Polega to na ogół na przeprowadzeniu rozmowy, w trakcie której wyjaśnia się, na czym polega badanie, przedstawia się podstawowe zasady zachowania w trakcie pomiarów (którymi są na przykład: niespoglądanie poza ekran czy unikanie zbędnych ruchów). Rozmowa powinna być prowadzona w swobodnej, relaksującej atmosferze, tak by zmniejszyć u badanych odczucie zdenerwowania (może ono wpłynąć na wykonywanie nietypowych ruchów oczu podczas badań oraz powodować trudności w skupieniu się nad realizowanym zadaniem).

Analiza jakościowa i ilościowa wyników badań

Dane pozyskane w wyniku pomiarów aktywności wzrokowej są przetwarzane przez oprogramowanie i możliwe jest na nich dokonywanie dwóch rodzajów

analizy – jakościowej i ilościowej. Analizy jakościowej dokonuje się najczęściej na zwizualizowanych wynikach zbiorczych lub indywidualnych.

W większości przypadków aplikacje analizujące dane umożliwiają wyznaczanie na wyświetlanym slajdzie wybranych elementów prezentowanej treści wizualnej (obrysowanych, nieregularnych kształtów lub figur geometrycznych) – tak zwanych **obszarów zainteresowań** (ang. *area of interest*, AOI). Pozwala to na pogłębioną analizę tych fragmentów oglądanego przez uczestnika badań obrazu, które są z jakichś szczególnych względów istotne z punktu widzenia badacza. Dla tych obszarów możliwe jest wyznaczanie tak zwanych kluczowych wyników (wybranych wskaźników), co przedstawia Rysunek 2.



Rysunek 2. Fragment infografiki z wyróżnionymi obszarami zainteresowania (AOI) oraz kluczowymi wynikami

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku wyodrębnienia w prezentowanej treści wizualnej kilku takich obszarów możliwe jest prześledzenie między innymi kolejności, w której badani oglądali zaznaczone fragmenty (*sequence*), ilości czasu spędzonego na obserwacji wyróżnionego elementu (*dwell time*) oraz czasu upływającego od rozpoczęcia oglądania slajdu do pierwszego zatrzymania wzroku na danym AOI (*entry time*). Ponadto można odczytać liczbę fiksacji, powrotów (ponownych spojrzeń) do danego obszaru czy średni czas fiksacji.

Wyniki dla wyróżnionego obszaru zainteresowania są średnią wyników wszystkich badanych, ale można również rozpatrywać je dla każdego uczestnika osobno.

Aplikacje analizujące dane pozwalają także na wizualne przedstawienie wyników badań w postaci **map ciepła** (*heat maps*), które są jedną z najbardziej popularnych form prezentacji wyników badań, pokazujących obszary, na które osoba badana kierowała wzrok, różnicując je kolorami (patrz Rysunek 3). Kolory ciepłe (czerwony, pomarańczowy) wskazują na duże zainteresowanie odbiorcy danym obszarem, natomiast kolory zimne oznaczają mniejszą koncentrację uwagi w konkretnym rejonie (ta technika wizualizacji danych przypomina zaznaczanie wysokości terenu na mapie ipsometrycznej). Elementy, na które wzrok nie był w ogóle kierowany, nie są zaznaczone żadnym kolorem.



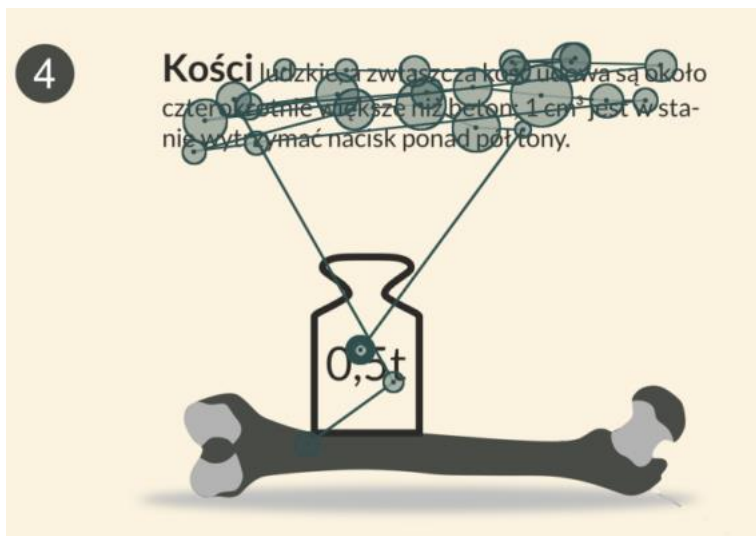
Rysunek 3. Mapa cieplna (*heat map*)

Źródło: opracowanie własne.

Kolejną zwizualizowaną postacią wyników badań są **mapy skupienia** (ang. *focus maps*), na których obszary skupienia wzroku są widoczne, natomiast te, na które badany nie patrzył, są zaciemnione.

W celu dokonania analizy kolejności oglądanych obszarów używa się **ścieżek skanowania wzrokiem** (ang. *gaze plot*, *scan path*) prezentujących ruch sakkadowy po scenie wizualnej (patrz Rysunek 4). Wyniki reprezentowane w ten sposób obrazują linie, które są ścieżką, jaką podążał wzrok podczas bada-

nia. *Scan path* może również wyróżniać obszary zatrzymania uwagi wzrokowej w postaci kół, których rozmiar jest proporcjonalny do czasu fiksacji.



Rysunek 4. Ścieżka wzroku z zaznaczonymi fiksacjami i sakkadami

Źródło: opracowanie własne.

Ważną funkcją większości aplikacji służących do zarządzania danymi pozyskiwanymi w wyniku pomiarów eye trackingowych jest również możliwość generowania wykresów, macierzy czy rozkładu procentowego danych. Niektóre oprogramowanie dostarcza nawet ponad 100 zmiennych – wskaźników okoruchowych (należy jednak zauważyć, iż ze względu na ścisły związek pomiędzy niektórymi z nich, jak na przykład ten pomiędzy liczbą fiksacji i liczbą sakkad, analizy dokonuje się na kilku lub kilkunastu indykatorach). Jeśli pomiary prowadzone są na dostatecznie licznej grupie badawczej, możliwe jest wykazywanie istotności statystycznej efektów, będących przedmiotem zainteresowania badacza. Ustalenie liczby osób biorących udział w eksperymencie (i tym samym zapewnienie odpowiedniej mocy statystycznej badania) zależy od czynników techniczno-organizacyjnych (którymi są przykładowo dostęp, czasami odpłatny, do aparatury badawczej czy też czas, który można poświęcić na przeprowadzanie badań) oraz wymogów statystycznych – między innymi sformułowanych hipotez czy też przyjętego poziomu ufności.

Dane liczbowe, które można wyeksportować z systemu eye trackingowego, są na ogół zapisywane w formacie txt i analiza statystyczna może być dokonywana w programach SPSS, Statistica, Excel lub innych.

Konkluzje

Doskonalenie procesu dydaktycznego wymaga prowadzenia badań, które pozwalają odpowiedzieć na pytania dotyczące między innymi efektywności stosowanych metod nauczania, strategii uczenia się, rozwiązywania problemów czy ogólniej – przetwarzania informacji. Osiągnięcie jak najwyższego stopnia bezstronności i rzetelności prowadzonych badań niejednokrotnie wiąże się z koniecznością stosowania kilku uzupełniających się metod czy technik badawczych (Juszczak, 2013). Eye tracking wydaje się obiektywną techniką pomiaru, umożliwiającą rezygnację z ustalania faktów jedynie na podstawie opinii respondentów, analizy treści lub obserwacji, które obarczone są wpływem uznaniowego postrzegania i oceny rzeczywistości przez badanego lub badacza. W przypadku przyjęcia przez naukowca triangulacyjnego podejścia badawczego, technika eye trackingowa wydaje się niezwykle przydatna, daje bowiem możliwość poszukiwania odpowiedzi na postawione pytania zarówno w ujęciu ilościowym, jak i jakościowym. Można zatem podsumować, że niezaprzeczalną zaletą stosowania okulografii w badaniach edukacyjnych jest wzbogacenie warsztatu badawczego o nową technikę pomiaru, dostarczającą danych o charakterze fizjologicznym, które pozwalają na lepsze zrozumienie możliwości poznawczych uczniów – procesów selekcji i zapamiętywania informacji, kierowania uwagi, reakcji na nowe sytuacje (problemy, zadania). Technika eye trackingowa przyczynia się również do pogłębienia interdyscyplinarności badań edukacyjnych, pozwala bowiem na eksplorację neurobiologicznych aspektów procesu uczenia się i wykorzystanie wiedzy na temat pracy mózgu do zwiększania efektywności uczenia się oraz doskonalenia metod nauczania.

Wadą tej techniki pomiaru jest trudność w interpretowaniu uzyskanych wyników. Stąd badania niejednokrotnie wymagają równoczesnego śledzenia pracy mózgu za pomocą takich technik pomiarowych jak EEG (elektroencefalografia) czy fMRI (funkcjonalne obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego) i korelowania wskaźników okoruchowych z aktywnością odpowiednich obszarów tego narządu. Trzeba również podkreślić, że informacje wizualne są filtrowane z uwzględnieniem intencji, potrzeby lub zasobu wiedzy (doświadczenia) uczestnika badań, stąd nadal konieczne jest łączenie tej techniki badawczej z ankietami czy wywiadami, dzięki czemu uzyskane wyniki mają charakter komplemen-

tarny. Doświadczenie autorek wskazuje, że technika eye trackingowa najlepiej sprawdza się w badaniach edukacyjnych, pełniąc funkcję weryfikacyjną, gdy stanowi jedynie uzupełnienie dla innych technik badawczych. Rzetelnie prowadzone badania są także związane z korzystaniem z wysokiej jakości aparatury, co tym samym zwiększa ich kosztowność. Również organizacja badań wymaga dużego wysiłku związanego z odpowiednim przygotowaniem materiału empirycznego, zapewnieniem właściwych warunków dla przeprowadzania pomiarów (izolacji akustycznej, jednorodnego oświetlenia, stabilnej pozycji).

Trudno jest zakwalifikować omawianą technikę badawczą do klasycznych kategorii metod badawczych właściwych dla pedagogiki. Spośród nich cztery najważniejsze, które mają charakter naukowy, to: eksperyment pedagogiczny, monografia pedagogiczna, metoda indywidualnych przypadków, sondaż diagnostyczny (Pilch i Bauman, 2001). Badania z wykorzystaniem techniki eye trackingowej często mylnie określa się mianem eksperymentu – ale bez wątplenia może być w eksperymencie pedagogicznym wykorzystywana. Wydaje się, że rosnąca popularność zastosowań pomiarów fizjologicznych w badaniach edukacyjnych będzie wiązać się z wyodrębnieniem kolejnej metody badawczej, którą można nazwać neurodiagnostyką pedagogiczną.

Bibliografia

- Amadiou F., Salmerón L., Cegarra, J., Paubel, P. V., Lemarié, J., & Chevalier, A. (2015), *Learning from Concept Mapping and Hypertext: An Eye Tracking Study*. „Educational Technology & Society”, 18(4), s. 100–112.
- Andrzejewska M., Stolińska A. (2016), *Comparing the Difficulty of Tasks Using Eye Tracking Combined with Subjective and Behavioural Criteria*, „Journal of Eye Movement Research”, 9(3): 3, s. 1–16, 2016, DOI: 10.16910/jemr.9.3.3.
- Błasiak W., Godlewska M., Rosiek R., Wcisło D., Andrzejewska M., Pęczkowski P., Rożek B., Sajka M., Stolińska A., Dutkiewicz E., Kazubowski P. (2015), *Eye-tracking i jego zastosowanie w dydaktyce przedmiotów przyrodniczych*, „Problemy Dydaktyki Fizyki”, Oficyna Wydawnicza ATUT, Centrum Edukacji Nauczycielskiej Uniwersytetu Wrocławskiego, Fundacja dla Uniwersytetu Wrocławskiego, Czeszów–Wrocław, s. 173–189.
- Di Stasi, L., Marchitto, M., Antoli, A., Baccino, T., Cañas, J. (2010), *Approximation of On-line Mental Workload Index in ATC Simulated Multitasks*, „Journal of Air Transport Management”, 16(6), s. 330–333, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jairtraman.2010.02.004>.
- Francuz P., (2015), *Imagia. W kierunku neurokognitywnej teorii obrazu*. Pobrano 6/10/2016 z <http://afterimagia.pl/book/okoruchowe-korelaty-piekna>.

- Gütl Ch., Pivec M., Trummer Ch., García-Barrios V. M., Mödritscher F., Pripfl J., Umgeher M., *AdeLE (Adaptive e-Learning with Eye-Tracking): Theoretical Background, System Architecture and Application Scenarios*, „European Journal of Open, Distance and E-Learning”(EURODL), http://www.eurodl.org/materials/contrib/2005/Christian_Gutl.htm (2005-12-06).
- Herej, S. (2014), *Reakcja źrenicy jako wskaźnik przetwarzania informacji podczas wykonywania zadania emocjonalny n-back*, „e-Polish Journal Of Veterinary Ophthalmology”, 1, s. 1–13.
- Hyönä J., Lorch R.F. Jr. (2004), *Effects of Topic Headings on Text Processing: Evidence from Adult Readers' Eye Fixation Patterns*, „Learning and Instruction”, 14, s. 131–152.
- Jaques N., Conati C., Harley J., Azevedo R. (2014), *Predicting Affect from Gaze Data During Interaction with an Intelligent Tutoring System*. *Intelligent Tutoring Systems*, 12th International Conference, ITS 2014, Honolulu, HI, USA, June 5–9, 2014. Proceedings, s. 29–38.
- Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & van Gog, T. (2010), *In the Eyes of the Beholder: How Experts and Novices Interpret Dynamic Stimuli*, „Learning and Instruction”, 20, s. 146–154, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.019>.
- Juszczak, S. (2013), *Badania jakościowe w naukach społecznych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Krejtz K., Biele C., Jonak Ł., (2015), *Dynamika uwagi wzrokowej a zaangażowanie poznawcze w trakcie czytania hipertekstu*, „Studia Psychologiczne”, t. 53, z. 4, s. 27–40, DOI: 10.2478/V1067-10-0145-9.
- Krejtz, I., Krejtz, K., Bielecki, M. (2008), *Zastosowania analizy ruchu oczu w badaniach społecznych*, „Psychologia Społeczna”, t. 3, 1(6), s. 73–86.
- Lai M.L., Tsai M.J., Yang F.Y, Hsu C.Y., Liu T.C., Lee S.W., Lee M.H, Chiou G.L., Liang J.C & Tsai C.C. (2013), *A Review Using Eye-Tracking Technology in Exploring Learning from 2000 to 2012*, „Educational Research Review”, 10, s. 90–115, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>.
- Liu H-Ch., Chuang H-H. (2011), *An Examination of Cognitive Processing of Multimedia Information Based on Viewers' Eye Movements*, „Interactive Learning Environments”, 19: 5, s. 503–517, DOI: 10.1080/10494820903520123.
- Młodkowski, J. (2008), *Koncepcja uwagi wizualnej*, „Acta Universitatis Lodziensis, Folia Psychologica”, 12, s. 23–44.
- Nowakowska-Buryła I., Joński T. (2012), *Eye-trackingowe badania prezentacji multimedialnych konstruowanych dla wspomagania edukacji wczesnoszkolnej*, w: W. Skrzydlewski, S. Dylak (red.), *Media – Edukacja – Kultura. W stronę edukacji medialnej*, Poznań–Rzeszów, s. 485–499.

- Ober, J., Dylak, J., Wojciech Gryniewicz, W., Przedpelska-Ober, E. (2009), *Sakkadometria – nowe możliwości oceny stanu czynnościowego ośrodkowego układu nerwowego*, „Nauka” 4, s. 109–135.
- Pilch, T., Bauman, T. (2001). *Zasady badań pedagogicznych. Strategie ilościowe i jakościowe*, Wydawnictwo Akademickie „Żak”, Warszawa.
- Poole, A., Ball, L. J. (2005), *Eye Tracking in Human-Computer Interaction and Usability Research: Current Status and Future Prospects*, w: C. Ghaoui (red.), *Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, Pennsylvania: Idea Group, Inc, s. 211–219.
- Pulak I., Wieczorek-Tomaszewska M. (2012), *Potrzeba kształtowania świadomości informacyjnej w zakresie materiałów wizualnych w szkolnictwie wyższym*, w: J. Morbitzer, M. Musiał (red.), *Człowiek, media, edukacja*, Katedra Technologii i Mediów Edukacyjnych, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków.
- Rayner, K. (1998), *Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research*, „Psychological Bulletin”, 124(3), s. 372–422, DOI: <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>.
- Stolińska A., Andrzejewska M., Błasiak W., Godlewska M., Pęczkowski P., Rosiek R., Rożek B., Sajka M., Wcisło D. (2014), *Analysis of Saccadic Eye Movements of Experts and Novices when Solving Text Tasks*, w: M. Nodzyńska, P. Cieśla i K. Różowicz (red.), *New Technologies in Science Education*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego, Kraków, s. 21–29.
- Susac, A., Bubic, A., Kaponja, J., Planinic, M., & Palmovic, M. (2014), *Eye Movements Reveal Students' Strategies in Simple Equation Solving*, „International Journal of Science and Mathematics Education” 12(3), s. 555–577, DOI: 0.1007/s10763-014-9514-4.
- Tai, R. H, Loehr J. F., Brigham, F. J. (2006), *An Exploration of the Use of Eye-Gaze Tracking to Study Problem-Solving on Standardized Science Assessments*, „International Journal of Research & Method in Education” 29(2), s. 185–208, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17437270600891614>.
- Tanaka, Y. & Yamaoka, K. (1993), *Blink Activity and Task Difficulty*, „Perceptual and Motor Skills, 77(1), s. 55–66, DOI: <http://dx.doi.org/10.2466/pms.1993.77.1.55>.
- van Gog T., Jarodzka, H., Scheiter, K., Gerjets, P., & Paas, F. (2009), *Attention Guidance During Example Study via the Model's Eye Movements*, „Computers in Human Behavior”, 25, s. 785–791.
- Vauras M., Hyönä J., Niemi P., (1992), *Comprehending Coherent and Incoherent Texts; Evidence from Eye Movement Patterns and Recall Performance*, „Journal of Research in Reading” 15, s. 39–54, DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9817.1992.tb00020.x>.