

**Mirosława SAJKA, Roman ROSIEK, Władysław BŁASIAK,  
Magdalena ANDRZEJEWSKA, Małgorzata GODLEWSKA,  
Paweł KAZUBOWSKI, Bożena ROŻEK, Anna STOLIŃSKA,  
Dariusz WCISŁO**

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Polska

## **Analiza reakcji pupilometrycznych uczniów gimnazjum podczas rozwiązywania zadania – badania porównawcze**

### **Wstęp**

Ze względu na bardzo dynamiczny rozwój oraz dostępność aparatury pomiarowej umożliwiającej monitorowanie parametrów psychofizjologicznych podejmujemy próby wspomaganie dydaktyk szczegółowych nowymi metodami. Szczególną uwagę poświęcamy monitorowaniu zmian parametrów psychofizjologicznych uczniów podczas rozwiązywania zadań. Artykuł jest kontynuacją badań dotyczących zastosowań pupilometrii do analizy subiektywnej oceny poziomu trudności zadań [Rosiek, Sajka 2014]. Podobnie jak w poprzednich pracach odwołujemy się do hipotez efektywności neuronalnej (*neural efficiency*) [Ahern 1979] zakładających, że bardziej inteligentne i lepiej przygotowane merytorycznie osoby rozwiązują problemy w sposób bardziej efektywny [Beatty 1982], więc nie muszą angażować w realizację tych czynności tak dużego wysiłku umysłowego, jak to ma miejsce w przypadku osób gorzej przygotowanych merytorycznie i mniej inteligentnych [Davidson 2000; Hendrickson 1982; Madsen 2012].

### **Cel badań**

Celem badań było powiązanie poziomu wysiłku umysłowego ze względnymi zmianami szerokości źrenicy podczas procesu rozwiązywania zadania oraz ich analiza i próba interpretacji w kontekście zmian obciążenia poznawczego, a także emocji uczniów. Interesowała nas analiza tych parametrów w dwóch grupach – uczniów osiągających sukcesy w naukach ścisłych oraz uczniów z trudnościami w uczeniu się tych przedmiotów.

W szczególności interesowało nas:

- czy podczas analizy treści zadania istnieją różnice w wielkościach zmian pupilometrycznych u uczniów matematycznie uzdolnionych oraz mających trudności w uczeniu się matematyki,
- jakie były różnice względnych zmian procentowych szerokości źrenicy w trakcie rozwiązywania zadania,

- czy badanie zmian szerokości źrenicy podczas analizy treści zadania może dać nam dodatkowe informacje na temat wysiłku intelektualnego lub subiektywnej oceny stopnia trudności tegoż zadania.

### **Próba badawcza**

Artykuł przedstawia analizę danych zarejestrowanych podczas eyetrackinowego badania grupy 52 uczniów krakowskich gimnazjów. Grupę tę stanowili specjalnie do celów badania wyselekcjonowani uczniowie biorący udział w konkursach przedmiotowych z fizyki oraz uczniowie klas gimnazjalnych niewykazujący zainteresowania przedmiotami ścisłymi i osiągający przeciętne lub słabe wyniki w nauce. Dodatkowo, aby precyzyjnie poznać reakcje uczniów, z badanej grupy wyselekcjonowano uczniów o najlepszych i najgorszych wynikach nauczania, których nazywamy odpowiednio: „Najlepsza Piątka” oraz osoby o 5 najgorszych wynikach, przy czym dwie osoby miały taką samą liczbę punktów, stąd „Najgorsza Szóstka”.

### **Aparatura**

Do rejestracji zmian średnicy źrenicy badanych uczniów użyto stacjonarnego eyetrackera SMI Hi-Speed i oprogramowania iViewX™. Badania prowadzono z częstotliwością próbkowania 500 Hz. Do analizy otrzymanych danych zostało wykorzystane oprogramowanie SMI BeGaze. Przed przystąpieniem do badania uczestników dokonywano 13-punktowej kalibracji urządzenia z przyjętą precyzją poniżej  $0,5^\circ$ . Natężenie światła w laboratorium, w którym odbywało się badanie, było jednakowe dla każdego z uczestników. Ze względu na pracę kamery eyetrackera w zakresie podczerwieni zadbane o to, by skład widmowy źródeł światła w pomieszczeniu zawierał minimalną ilość składowych bliskich czerwieni. Dodatkowo przed kalibracją badane osoby spędzały w miejscu badania kilka minut, aby ich wzrok mógł się przyzwyczaić do warunków oświetleniowych, by zapewnić możliwie największą wiarygodność pomiaru szerokości źrenicy.

### **Zadanie**

Do analizy w niniejszym opracowaniu zostało wybrane zadanie, którego treść i analiza teoretyczna została przedstawiona w artykule pt. *Analiza porównawcza wybranych parametrów okulograficznych uczniów gimnazjum podczas rozwiązania zadania* [Sajka, Rosiek w bieżącym numerze].

### **Metodologia analizy wyników badania**

W obszarze treści zadania w miejscach istotnych z punktu widzenia jego prawidłowej analizy zdefiniowano obszary zainteresowania (w skrócie: AOI – *area of interests*). Ilustruje to rys. 1.

Staw zarasta rzęsą\*.  
Co dwa dni jej obszar się podwaja.  
Cały staw zarósł w ciągu 64 dni.  
Po ilu dniach zarośnięta była  $\frac{1}{4}$  stawu?

Picture - lake

Wskaż prawidłową odpowiedź. Po ilu dniach zarośnięta była 1/4 stawu?

A. Nie da się rozstrzygnąć  
B. Po 4 dniach  
C. Po 16 dniach  
D. Po 60 dniach  
E. inna odp. (wypowiedź)

Oceń stopień trudności tego zadania:

1. Bardzo trudne  
2. Trudne  
3. Średnie  
4. Łatwe  
5. Bardzo łatwe

\*) Rzęsa – rodzaj roślin wodnych

**Rys. 1. Obszary zainteresowania (AOI) zdefiniowane na treści zadania**

Wśród wyróżnionych 16 obszarów znajdują się następujące:

*Sformułowanie zadania; Zdjęcie jeziora; Wskaż odpowiedź; Nie da się rozstrzygnąć; Po 4 dniach; Po 16 dniach; Po 60 dniach; Inna odpowiedź; Oceń trudność; Bardzo trudne; Trudne; Średnie; Łatwe; Bardzo łatwe; Wyjaśnienie; Biały obszar.*

Ze względu na różnice indywidualne wśród badanych uczniów zarówno w zakresie rozmiarów źrenicy, jak i wielkości zmian jej średnicy nie byłoby metodologicznie poprawne porównywanie ich wielkości bezwzględnych. Dokonano zatem analizy względnych wartości zmian szerokości źrenicy zgodnie z metodologią opisaną w artykule [Rosiek, Sajka 2014].

W tym celu:

1. Dla każdego ucznia policzono średnią wartość szerokości źrenicy dla wszystkich fiksjacji podczas rozwiązywania zadania.
2. Następnie w odniesieniu do tej średniej obliczono względne zmiany procentowe szerokości źrenicy dla poszczególnych fiksjacji.
3. Określono wartość największą i najmniejszą względnych zmian szerokości źrenicy dla każdego z uczniów.
4. Przyjęto wartość progową równą 75% indywidualnych wartości ekstremalnych dla każdego z badanych uczniów.
5. Dla każdego z badanych uczniów dla wielkości względnych zmian szerokości źrenicy, które przekraczały wartość założonego progu, dokonano identyfikacji obszarów zainteresowania AOI, których dotyczyły te fiksjacje.

## Wyniki badań<sup>1</sup>

Tabela 1 przedstawia liczbę fiksacji, podczas których względne zmiany procentowe szerokości źrenicy przewyższały wartość ustalonego progu: 75% wartości największej lub najmniejszej (zob. punkt 5 metodologii). Dodatkowo tabela przedstawia obszary zainteresowania AOI, na których odnotowano fiksacje, podczas których takie zmiany następowały.

**Tabela 1**  
**Liczba fiksacji, dla których względne zmiany szerokości źrenicy badanych uczniów przekroczyły wartości progowe na poszczególnych obszarach zainteresowania AOI**

AOI, na który patrzyli badani	Liczba fiksacji, dla których względne zmiany szerokości źrenicy przekroczyły wartości progowe										
	Najślabza Szóstka						Najlepsza Piątka				
<b>Obszar biały</b>	4		1	1	8	6	1	1		1	
<b>Sformułowanie problemu</b>	1	6	2	1	3	5	15	11	9	12	
<b>Jezioro</b>			2								
<b>Wyjaśnienie</b>					3	3			1		
<b>Bardzo łatwy</b>								1	2		
<b>Nie da się rozstrzygnąć</b>	4			1			2				
<b>Łatwy</b>	2				1	1			1		
<b>Oceń trudność</b>								2	6		
<b>Średni</b>	3		2						1		1
<b>Po 60 dniach</b>	1							1		1	
<b>Po 16 dniach</b>	1			1		1	1				1
<b>Po 4 dniach</b>							1				
<b>Wskaż odpowiedź</b>	1			3			2	1	2		1
<b>Inna odpowiedź</b>	1							1			
<b>SUMA</b>	18	6	7	7	15	16	22	18	22	14	3

## Analiza wyników

Dokonując analizy danych pupilometrycznych otrzymanych dla „Najlepszej Piątki”, można zauważyć, że:

- Dla 10 spośród 11 badanych osób wartości względne przekraczające wartość progową szerokości źrenicy powtarzały się w trakcie patrzenia na sformułowanie problemu.
- Jeśli odnotowano fiksacje w obszarze poprawnej odpowiedzi, dla których względne zmiany procentowe szerokości źrenicy przekraczały wartości pro-

<sup>1</sup> W artykule wykorzystano fragmenty pracy magisterskiej pt. *Zastosowanie technik eye-trackingu do analizy reakcji pupilometrycznych u uczniów gimnazjum podczas rozwiązywania zadań matematycznych* napisanej pod kierunkiem dr M. Sajki przez J. Flisek, absolwentkę kierunków matematyka i fizyka Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie.

- gowe, to zawsze było to zwiększenie szerokości źrenicy mogące świadczyć o znacznym obciążeniu poznawczym.
- Jeśli odnotowano fiksacje w obszarze „określ stopień trudności zadania”, dla których względne zmiany procentowe szerokości źrenicy przekraczały wartość progową, to zawsze było to zwężenie źrenicy.
  - Jeśli odnotowano fiksacje w obszarze białego obszaru, dla których względne zmiany procentowe szerokości źrenicy przekraczały wartość progową, to zawsze było to zwiększenie szerokości źrenicy. Jest to ciekawa obserwacja, ponieważ można by oczekiwać, że naturalną reakcją źrenicy podczas patrzenia na jasne obszary będzie jej zwężenie. Można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że taka reakcja źrenicy świadczy o wysiłku intelektualnym związanym z przetwarzaniem informacji i obciążeniu poznawczym. Fiksacje w tym przypadku następują w obszarze, na którym brak jakichkolwiek szczegółów związanych z zadaniem.
- Natomiast dokonując analizy danych pupilometrycznych dla „Najślabszej Szóstki”, można zauważyć, że:
- Wartości zmian szerokości źrenicy przekraczające ustalone wielkości progowe obserwowano podczas patrzenia na sformułowanie treści problemu i obszar biały.
  - Jeśli w obszarze określenia stopnia trudności zadania odnotowano fiksacje, dla których względne zmiany procentowe szerokości źrenicy przekraczały wartość progową, to zawsze było to zwężenie źrenicy.

## **Podsumowanie**

Porównując wyniki zarejestrowane podczas badania najlepszych uczniów w grupie badanych gimnazjalistów z wynikami osób osiągających najniższe w tej grupie wyniki nauczania, można sformułować następujące wnioski:

- W większości przypadków wartości przekraczające wartość progową szerokości źrenicy najczęściej powtarzały się w trakcie patrzenia na sformułowanie problemu. Jak można się domyślać, jest to najbardziej istotny obszar, w obrębie którego badani dokonują subiektywnej oceny stopnia trudności zadania. Podejmują także próbę rozwiązania zadania.
- Zarówno w grupie „Najlepszej Piątki”, jak i „Najślabszej Szóstki” wśród wszystkich wartości przekraczających założoną wartość progową, jeśli odnotowano patrzenie na określenie stopnia trudności zadania, zawsze było to zwężenie źrenicy.

Wyniki badań nie wykazały istotnych różnic w zakresie reakcji pupilometrycznych podczas rozwiązywania zadania przez uczniów w wyselekcjonowanych grupach badanych gimnazjalistów. Fakt ten może mieć różne przyczyny. Brak zaobserwowanych różnic może oznaczać, że stres, który uczniowie sygnalizowali zarówno przed badaniem, jak i w trakcie badania, zdominował ich reakcje pupilometryczne.

Z pewnością należy kontynuować badania w kierunku analizy zależności między reakcjami pupilometrycznymi a obciążeniem poznawczym uczniów. Należałoby badania tego typu powtarzać, mając na uwadze redukcję poziomu stresu badanych uczniów poprzez realizację badań w znanych im miejscach, np. w szkole, aby zweryfikować obserwacje i wnioski.

## Literatura

- Ahern S., Beatty J. (1979): *Pupillary Responses during Information Processing Vary with Scholastic Aptitude Test Scores*, „Science” vol. 205.
- Beatty J. (1982): *Task-evoked Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources*, „Psychol. Bull.” vol. 91.
- Davidson J.E., Downing C.L. (2000): *Contemporary Models of Intelligence*, [w:] Sternberg R.J. (red.), *Handbook of Intelligence*, Cambridge.
- Hendrickson A.E. (1982): *The Biological Basis of Intelligence, Part I: Theory*, [w:] Eysenck H.J. (red.), *A Model for Intelligence*, New York.
- Madsen A., Larson A., Loschky L., Rebello N. (2012): *Using ScanMatch Scores to Understand Differences in Eye Movements between Correct and Incorrect Solvers on Physics Problems*.
- Rosiek R., Sajka M. (2014): *Reakcja źrenicy jako wskaźnik przetwarzania informacji podczas rozwiązywania zadań testowych z zakresu nauk ścisłych*, „Education Technology Computer Science” no. 2.

## Streszczenie

Artykuł jest kontynuacją badań eye-trackingowych dotyczących zastosowań pupilometrii do celów analizy subiektywnej oceny poziomu trudności zadań oraz obciążenia poznawczego u badanych osób podczas rozwiązywania zadań [Rosiek, Sajka 2014].

Analizie poddane zostały reakcje źrenicy uczniów gimnazjum podczas rozwiązywania zadania. W artykule przedstawiono szczegółową analizę reakcji pupilometrycznych wybranych dwóch grup uczniów: uzdolnionych w kierunku nauk ścisłych oraz uczniów osiągających najniższe wyniki nauczania z tych przedmiotów. Dokonana została próba porównania tych reakcji.

**Słowa kluczowe:** dydaktyka, *eye-tracking*, pupilometria, analiza rozwiązywania zadań.

## Pupil Size Reactions of Middle School Students during the Process of Solving a Problem – a Comparative Analysis

### Abstract

The paper is a continuation of the eyetracking research on using pupilometry for the analysis of students' subjective assessment of the level of task difficulty

and for diagnosis of their cognitive load during the process of problem solving [Rosiek, Sajka 2014].

The diameters and changes of the pupil size of chosen middle school students were measured. The article includes a detailed analysis of the reactions of the pupil size in selected two groups of students: gifted in science, and achieving the lowest results in these subjects. The attempt was made to compare these reactions.

**Keywords:** didactics, eye-tracking, pupilometry, science problem solving.