

dr inż. JOANNA KAMIŃSKA

Centralny Instytut Ochrony Pracy
– Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: jozab@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0013.0256

Parametry ruchu gałek ocznych jako wskaźniki obciążenia psychicznego – przegląd badań

Fot. DenisNata/Bigstockphoto



Monitorowanie obciążenia psychicznego (związanego z emocjami lub wykonywaną pracą umysłową i przeciążeniem poznawczym) może być realizowane wieloma metodami doświadczalnymi. Najczęściej stosowane to rejestracje rytmu serca (zmienność rytmu serca HRV) rejestracja poziomu kortyzolu w ślinie lub rejestracja aktywności elektrycznej mózgu. Wszystkie te metody wymagają zaangażowania pracownika, co wiąże się z ingerencją w jego pracę, zachowanie i może wpływać na wyniki pomiarów. W artykule przedstawiono informacje odnośnie do parametrów związanych z narządem wzroku, które mogą być wykorzystane do oceny stanu psychicznego i wpływu sytuacji stresogennych na pracowników, a jednocześnie może być realizowane z wykorzystaniem zdalnego pomiaru (np. okulografu umieszczonego pod ekranem monitora).

Słowa kluczowe: okulografia, obciążenie psychiczne, średnica źrenicy, częstość mrugania

Eyeball movement parameters as indicators of mental strain – research review

Monitoring of the mental strain (however, associated with occupational mental and cognitive overload) may be carried out with the use of a number of experimental methods. Heart rate variability (HRV), salivation cortisol registration or brain electrical activity record are the ones used most commonly. All of the mentioned methods require the involvement of an employee, which means her/his work is about to be interrupted and, therefore, his attitude may affect the results of measurements. The article presents information on the parameters related to the organ of sight, which can be used to assess the mental state and the impact of stress-inducing situations on employees, and simultaneously can be carried out by the use of remote measurement (e.g. eye-tracker located underneath PC screen).

Keywords: eye-tracking, mental strain, pupil's diameter, blinking frequency

Wstęp

Na świecie ponad 450 milionów ludzi cierpi z powodu zaburzeń psychicznych, a niemal 200 mln dorosłych Europejczyków doświadcza przynajmniej jednego z przejawów złego stanu zdrowia psychicz-

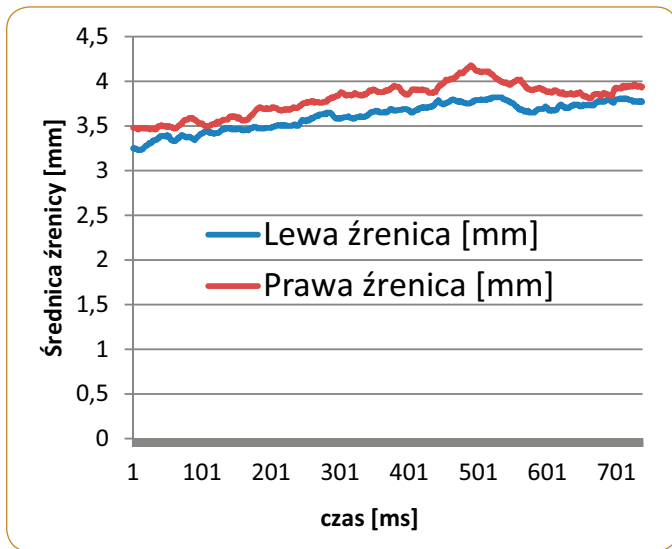
nego w ciągu roku. Podobnie sytuacja wygląda w Polsce, gdzie systematycznie rośnie liczba osób leczonych z powodu zaburzeń psychicznych. Raport „Sytuacja zdrowotna ludności Polski i jej uwarunkowania” podaje, że najczęstszymi problemami

zdrowotnymi u osób leczonych w psychiatrycznej opiece ambulatoryjnej są zaburzenia nerwicowe związane ze stresem [1].

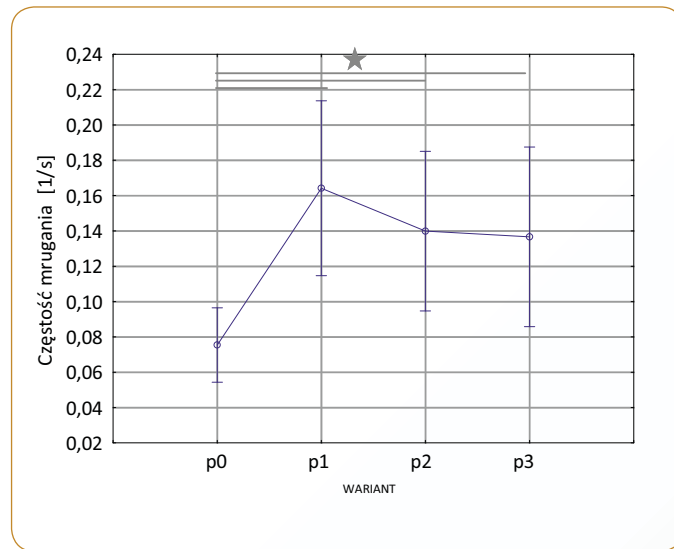
W ciągu ostatnich trzech lat wskaźnik osób leczących się z tego powodu wzrósł aż o 24%. W 2014 r. zaburzenia psychiczne zdiagnozowano u 204 tys. osób. Mężczyźni byli o 94% częściej leczeni niż kobiety; na 100 tys. osób leczeniu poddano 708 mężczyzn i 364 kobiety. W związku z tym bardzo ważne jest zapobieganie zaburzeniom psychicznym, także rozwój badań naukowych z zakresu zdrowia psychicznego. Profilaktyka zaburzeń psychicznych to między innymi monitorowanie reakcji organizmu na sytuacje stresogenne. Wykonywanie pracy umysłowej np. w *call center* w sektorze bankowym wiąże się nierozdzielnie z obciążeniem psychicznym. Może to skutkować pogorszeniem się stanu zdrowia psychicznego pracownika.

W badaniach obciążenia psychicznego najczęściej wymienianymi w literaturze metodami fizjologicznymi są: badanie zmienności rytmu serca HRV, badanie poziomu kortyzolu w ślinie i bioelektrycznej czynności mózgu z EEG [2, 3]. W efekcie poszukiwania kolejnych wskaźników, które odzwierciedlają związane z obciążeniem psychicznym zmiany fizjologiczne w organizmie ludzkim, pojawiły się w ostatnim czasie doniesienia, dotyczące zastosowania parametrów związanych z narządem wzroku. W przeciwieństwie do wymienionych wcześniej technik pomiarowych, rejestracje ruchu gałki oka mogą być realizowane z wykorzystaniem zdalnego pomiaru (np. okulografu umieszczonego pod ekranem monitora). W przyszłości może to zaowocować opracowaniem technik monitorowania obciążenia psychicznego pracowników wynikającego zarówno ze stanów emocjonalnych, jak też z presji czasu.

Celem artykułu jest przedstawienie parametrów okoruchowych, które dają możliwość oceny obciążenia psychicznego. Są to parametry bazujące na pomiarach fizjologicznych, więc otrzymane wyniki można traktować jako obiektywne. Rejestracja ruchu gałek ocznych, pomimo że jej początki sięgają lat 60. ubiegłego wieku, dopiero niedawno stała się bardziej powszechna, dostępna do stosowania w nauce, więc parametry te mogą być też coraz szerzej wykorzystywane przez badaczy, szczególnie psychologów.



Rys. 1. Zmiana rozmiaru średnicy źrenicy podczas prezentacji bodźca negatywnego [5]
Fig. 1. Change in the diameter of the pupil during the presentation of the negative stimulus [5]



Rys. 2. Zmiana częstości mrugania ze wzrostem presji czasu
Fig. 2. Change in the blinking frequency corresponding to the time pressure's rise

Rozmiar źrenicy jako wskaźnik obciążenia psychicznego

Spośród parametrów związanych z narządem wzroku, najczęściej wymienianym wskaźnikiem reakcji na sytuacje stresogenne jest rozmiar źrenicy. Parametr ten jest zależny zarówno od stanu emocjonalnego, jak też od obciążenia poznawczego osób.

Badania pokazały, że emocje powodują powiększenie się średnicy źrenicy [4,5]. Nieprzyjemne bodźce wzrokowe mają dużo większy wpływ na rozmiar źrenicy, niż bodźce przyjemne. Na przykład badania u niemowląt, które stymulowano 3 typami bodźców – nagraniem o wydźwięku: neutralnym, negatywnym oraz pozytywnym – wykazały, że największe i najdłuższe trwające rozszerzenie źrenic występuje podczas oglądania nagrania negatywnego. Podczas prezentacji filmu pozytywnego również zaobserwowano powiększenie źrenicy, ale trwało ono znacznie krócej niż podczas oglądania filmu negatywnego [4].

Jest to zgodne z teorią psychologii ewolucyjnej, która mówi, że negatywne bodźce są dla ludzi ważniejsze, bardziej motywują do reakcji (zarówno świadomej jak i nieświadomej). Podobne zależności zaobserwowano w badaniach przeprowadzonych w CIOP-PIB, w których porównano zmiany średnicy źrenicy podczas prezentacji zdjęć w wariacie negatywnym i pozytywnym [5]. Osobie badanej najpierw prezentowano zdjęcia o ładunku emocjonalnym, a następnie ekran z zadaniem wzrokowym: 8 wyrazami do zapamiętania. Podczas prezentacji bodźców emocjonalnych średnica źrenicy powiększała się (rys. 1.), a podczas zadania wzrokowego – zmniejszała się do poprzedniej wielkości, co świadczy o tym, że bodźce emocjonalne mają większą siłę oddziaływania niż obciążenie poznawcze osób badanych.

Przeprowadzone w ramach tych badań testy subiektywne wykazały dodatkowo, że oba warianty badań (zarówno bodźce negatywne, jak i pozytywne) powodowały podobny wpływ na zmęczenie – uczestnicy czuli się *post factum* mniej skuteczni w działaniu, bardziej rozkojarzeni i niezdolni do koncentracji.

Z kolei badania prowadzone przez Herej wskazują na większą poprawność odpowiedzi przy wystąpieniu bodźców pozytywnych [6]. Bodźce negatywne bardziej niż pozytywne mogą angażować poznawczo osoby badane, zajmować ich zasoby,

zawęźać uwagę i utrudniać tym samym udzielenie poprawnych odpowiedzi.

Na średnicę źrenicy ma wpływ także inny czynnik: pamięć robocza i związane z nią przeciążenie poznawcze. Pedrotti i in. zaproponowali metodę opartą na transformacji falkowej¹ i sieciach neuronowych do określenia zależności między obciążeniem psychologicznym a średnicą źrenicy [7]. Metodę testowano podczas symulowanego zadania prowadzenia pojazdu i wykazano, że średnica źrenicy jest dobrym wskaźnikiem do wykrywania stresu związanego z przeciążeniem poznawczym. Stwierdzono, że aktywność źrenic jest bardziej intensywna w warunkach większego obciążenia psychicznego i następuje po zdarzeniach stresujących. Rozszerzenie się źrenicy podczas wykonywania zadań poznawczych może być więc uznane za psychofizjologiczną miarę przetwarzania informacji – im większa średnica źrenicy, tym większy wysiłek umysłowy.

Częstość mrugania jako wskaźnik obciążenia psychicznego

Innym wskaźnikiem obciążenia psychicznego może być częstość mrugania. Zauważono bowiem, że w sytuacjach relaksujących mruganie powiek jest rzadsze niż podczas normalnej aktywności. Z kolei sytuacje stresujące mogą powodować zwiększenie częstości mrugania.

Częstość mrugania jest także parametrem wrażliwym na obciążenie psychiczne, związane z presją czasu. Badania przeprowadzone w CIOP-PIB wykazały, że zwiększenie presji czasu (poprzez zwiększenie liczby zadań wykonywanych w takiej samej jednostce czasu) powodowało zwiększenie częstości mrugania [6]. Częstość mrugania w badaniu p0 (przed wykonaniem zadań z presją czasu) była istotnie statystycznie mniejsza niż we wszystkich pozostałych wariantach: p1, p2 oraz p3 (p1 oznacza najniższą, a p3 najwyższą presję czasu; rys. 2.).

Częstość mrugania jest jednak zależna od rodzaju aktywności wzrokowej. Na przykład Sakai i in. badali związek między częstością mrugania a uwagą

wzrokową [8]. Wyniki eksperymentu pokazały, że zaangażowanie uwagi wzrokowej spowodowało zmniejszenie częstości mrugania. Gdy uwaga wzrokowa nie była aktywowana, częstość mrugania wzrastała. Duża częstość mrugania może jednak wynikać też z cech indywidualnych: na przykład chorób oczu.

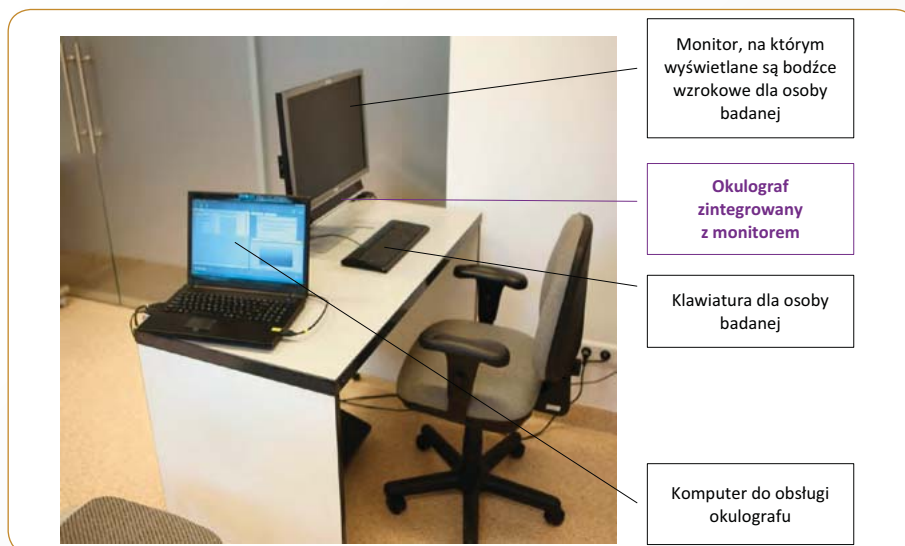
W wynikach innych badań sugeruje się także, że nienormalnie wysoka częstość mrugania może być potencjalnym biomarkerem przejścia od zdrowego starzenia się do demencji [9]. Autorzy tych badań zbadali zależność między częstością mrugania a funkcjami poznawczymi u osób starszych z łagodnym upośledzeniem funkcji poznawczych oraz osób zdrowych z grupy kontrolnej. Funkcje poznawcze oceniano za pomocą zestawu testów neuropsychologicznych, w trakcie których mierzono częstość mrugania. Uczestnicy z łagodnym upośledzeniem funkcji poznawczych wykazali znacznie wyższą częstość mrugania niż osoby z grupy kontrolnej. Autorzy są zdania, że wysoka częstość mrugania może świadczyć o nieprawidłowo zwiększonej aktywności dopaminy i zaburzeniach równowagi neuroprzekazników w ośrodkowym układzie nerwowym osób z łagodnym upośledzeniem funkcji poznawczych oraz ogólnym upośledzeniem wydajności poznawczej.

Częstość mrugania jest jednak parametrem wrażliwym na światło, a także może być reakcją na zbyt suche powietrze w pomieszczeniu. Dlatego też należy zachować szczególną ostrożność przy wyciąganiu wniosków w odniesieniu do tego parametru.

Inne parametry przydatne w ocenie obciążenia psychicznego

Parametrem, którego zmiany mogą być analizowane w odniesieniu do różnych sytuacji stresogennych, jest ciśnienie wewnątrzgałkowe. Parametr ten wykorzystano między innymi do oceny wpływu stresu egzaminacyjnego na studentów [10]. Badania przeprowadzono w dwóch grupach: przed i po sesji egzaminacyjnej. Analiza statystyczna wykazała wyższe wartości ciśnienia wewnątrzgałkowego w badaniu po sesji egzaminacyjnej w porównaniu ze stanem kontrolnym. Na tej podstawie potwierdzono przydatność ciśnienia wewnątrzgałkowego jako obiektywnego wskaźnika stresu egzaminacyjnego.

¹ Transformacja falkowa – metoda analizy sygnałów zmiennych w czasie, polegająca na transformacji sygnału do przestrzeni czas-częstotliwości, umożliwiającą szczegółową analizę częstotliwościową sygnału z dużą precyzją w dziedzinie czasu.



Rys. 3. Stanowisko do rejestracji okulograficznych
Fig. 3. A stand for eye tracking tests

Z kolei badania przeprowadzone w CIOP-PIB pokazały, że pod wpływem obciążenia psychicznego, zadawanego poprzez wykonywanie zadań wzrokowych w narzuconym, zwiększającym się tempie pracy zmienia się średni czas fiksacji² oraz częstość sakad³ [11]. Jednakże zmiany wielkości tych parametrów nie są jednoznaczne. Początkowo następuje wydłużenie czasu fiksacji oraz obniżenie częstości sakad, ale dalsze zwiększanie natężenia pracy powoduje, że osoby wracają do normalnego tempa obserwacji wzrokowej. Na podstawie tych badań stwierdzono, że osoby badane „rekompensują” ograniczenia związane z postrzeganiem bodźców i możliwościami szybkiej reakcji na nie zwiększając się liczbą błędów oraz mniejszą liczbą poprawnie wykonanych zadań wzrokowych.

Wydaje się więc, że wykorzystanie ciśnienia wewnątrzgałkowego, czasu fiksacji oraz częstości sakad do oceny obciążenia psychicznego związanego z presją czasu wymaga dodatkowych, szczegółowych badań.

Urządzenia do rejestracji parametrów okoruchowych

Metodą badawczą umożliwiającą śledzenie ruchu gałek ocznych oraz ocenę wpływu bodźców zewnętrznych, w tym sytuacji stresogennych na organizm człowieka, jest okulografia. Do badań pod kątem oceny obciążenia psychicznego mogą być wykorzystywane urządzenia różnego typu. Najczęściej stosowane są okulografy wykorzystujące optyczne (bazujące na technologii wideo) metody pomiaru ruchu oka. Urządzenia takie mają formę okularów, noszonych przez użytkowników. Badania polegają na rejestracji wideo obrazu przed osobą i jednocześnie – rejestracji położenia gałki ocznej.

Analiza polega na nałożeniu na siebie obu rejestracji, co (dzięki kalibracji) daje możliwość wskazania z dużą dokładnością punktów, na których skupiany jest wzrok. Metoda ta jest powszechnie stosowana w badaniach jakościowych, na podstawie których ocenia się, jakie obszary przestrzeni będą szczególnie zainteresowanie (np. w bada-

niach marketingowych). Okulografy mogą być także montowane pod ekranem monitora. Rejestracja odbywa się z wykorzystaniem światła podczerwonego, które odbija się od oka i następnie jest rejestrowane przez kamerę lub inny specjalnie zaprojektowany czujnik optyczny. Tego typu *eye trackers* wykorzystują zazwyczaj odbicie rogówki oraz środek źrenicy do analizy ruchu gałki ocznej. Wideookulografia jest metodą najczęściej stosowaną ze względu na jej nieinwazyjność, uniwersalność i łatwość obsługi.

Na rys. 3. przedstawiono stanowisko do rejestracji okulograficznych wyposażone w okulograf zintegrowany z monitorem²², na którym prezentowane są zadania do wykonania przez osoby badane.

Konstrukcja urządzeń może uwzględniać dodatkowe podparcie podbródka lub czoła w przypadku, gdy sprzęt będzie wykorzystywany w badaniach wymagających bardzo dużej dokładności. Urządzenia takie są większe i mniej wygodne w użytkowaniu, jednak cechuje je bardzo duża częstotliwość próbkowania, a więc i większa dokładność pomiarów.

Pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego może być przeprowadzany z wykorzystaniem tonometru. Jednak ciągły monitoring ciśnienia wewnątrzgałkowego pod kątem badania zmian tego parametru jest bardzo trudny (praktycznie niemożliwy w przypadku użycia tradycyjnego tonometru). Jedną z niemieckich firm prowadzi prace nad implantem do oka, który został już wszczepiony pierwszemu pacjentowi.

Podsumowanie

Podjęmowane próby zastosowania okulografii do oceny obciążenia psychicznego (związanego z emocjami lub wykonywaną pracą umysłową i przeciążeniem poznawczym) wskazują, że parametry okoruchowe, takie jak średnica źrenicy, częstość mrugania i inne mogą być dobrymi wskaźnikami obciążenia. Rozwój technologii informatycznych umożliwia łatwe i szybkie badania, co w przyszłości może być wykorzystane do monitorowania obciążenia psychicznego na stanowiskach pracy.

Rejestracja obciążenia psychicznego w czasie rzeczywistym budzi w niektórych przypadkach wątpliwości etyczne. Jednak jej właściwe wykorzystanie może przynieść wymierne korzyści zarówno dla pracownika, jak i pracodawcy; pozwoli także

na szybsze reagowanie na przykład w sytuacji nadmiernego pobudzenia, które mogłoby stanowić zagrożenie dla zdrowia pracownika. Warto także zwrócić uwagę, że parametry ruchów gałek ocznych mogą być wykorzystywane również do oceny innych stanów fizjologicznych, na przykład zmęczenia [12,13]. Monitorowanie parametrów okoruchowych może więc mieć duże znaczenie dla profilaktyki przeciążenia pracą, a w rezultacie pozytywnie wpłynąć na dobrostan pracowników i zmniejszenie ich absencji chorobowej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Raport *Sytuacja zdrowotna ludności Polski i jej uwarunkowania 2017* <http://www.sdgs.pl/wp-content/uploads/2017/06/sytuacja-zdrowotna-ludnosci-w-polsce-2016-s.pdf>
- [2] Castaldo R., Melillo P., Bracale U., Caserta M., Triassi M., Pecchia L. *Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis*. "Biomed. Signal Process. Control" 2015,18:370-377 doi: 10.1016/j.bspc.2015.02.012
- [3] Rodríguez R. & Vera J. *Effect of examination stress on intraocular pressure in university students*. "Applied Ergonomics" 2018, Vol. 67, pp. 252-258 <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.10.010>
- [4] Geangu E., Hauf P., Bhardwaj R., Bentz W. *Infant Pupil Diameter Changes in Response to Others' Positive and Negative Emotions*. "PLOS ONE" 2011,6,11:e27132 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027132>
- [5] Kamińska J., Nowak H., Roman-Liu D., Tokarski T. *Neurofizjologiczne wskaźniki reakcji pracownika na sytuacje stresogenne podczas pracy umysłowej 2017, program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” IV etap, okres realizacji: lata 2017-2019 – sprawozdanie etapowe*
- [6] Herej S. *Reakcja źrenicy jako wskaźnik przetwarzania informacji podczas wykonywania zadania emocjonalny n-back*. „e-Polish Journal of Veterinary Ophthalmology” 2014 <https://docplayer.pl/33235202-Reakcja-źrenicy-jako-wskaźnik-przetwarzania-informacji-podczas-wykonywania-zadania-emocjonalny-n-back.html>
- [7] Pedrotti M., Mirzaei M. A., Tedesco A., Chardonnet J. R., Mérianne F., Benedetto S., & Baccino T. *Automatic stress classification with pupil diameter analysis*. "Int. J. Hum-Comp. Interac." 2014,30:220-236
- [8] Sakai T., Tamaki H., Ota Y., Egusa R., Inagaki S., Kusunoki F. & Mizoguchi H. *Eda-Based Estimation Of Visual Attention By Observation Of Eye Blink Frequency*. "International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems" 2017,10,2:296-307
- [9] Ladas A., Frantzidis Ch., Bamidis P., Vivas B.A. *Eye Blink Rate as a biological marker of mild cognitive impairment*. "International Journal of Psychophysiology" 2014, Vol. 93, Issue 1, pp. 12-16 ISSN 0167-8760, <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.07.010>
- [10] Jiménez R., Vera J. *Effect of examination stress on intraocular pressure in university students*. "Appl Ergon." 2018,67:252-258 doi: 10.1016/j.apergo.2017.10.010
- [11] Kamińska J. *Parametry okoruchowe wskaźnikami obciążenia pracą umysłową*. Rozprawa doktorska, CIOP-PIB, Warszawa 2017
- [12] Smith N. *Relations between self-reported and linguistic monitoring assessments of affective experience in an extreme environment*. "Wilderness and Environmental Medicine" 2017, 29, 10.1016/j.wjem.2017.08.023
- [13] Horiuchi R., Ogasawara T., Miki N. *Fatigue assessment by blink detected with attachable optical sensors of dye-sensitized photovoltaic cells*. "Micromachines" 2018,9, 310. 10.3390/mi9060310

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

² Fiksacja – oznacza czas, w trakcie którego wzrok jest skoncentrowany na konkretnym punkcie w przestrzeni (przyj. red.).

³ Sakady lub ruchy sakadowe to szybkie skokowe ruchy oka (przyj. red.).