

# Badania elektrofizjologiczne w diagnozowaniu wybranych schorzeń narządu wzroku

## Electrophysiological examinations in diagnosis of certain diseases of vision organ

Arkadiusz Hulewicz

Zakład Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3A, 60-965 Poznań, tel. +48 (61) 665 25 46, e-mail: arkadiusz.hulewicz@put.poznan.pl

### Streszczenie

Badania związane z pomiarami i przetwarzaniem elektrofizjologicznych sygnałów narządu wzroku polegają na bezinwazyjnym pomiarze potencjałów elektrycznych za pomocą odpowiednich elektrod. W zależności od sposobu rozmieszczenia elektrod oraz rodzaju mierzonych potencjałów badać można wzrokowe potencjały wywołane (*Visual Evoked Potential* – VEP) oraz elektroretinografię (*Electroretinography* – ERG).

W artykule szczegółowo przedstawiono znaczenie elektrofizjologicznych sygnałów narządu wzroku oraz zasady ich pozyskiwania. Omówiono najczęściej przeprowadzane badania, opisano rodzaj i miejsce aplikacji elektrod pomiarowych. Przedstawiono charakterystyki diagnostyczne otrzymane podczas badań elektrofizjologicznych oraz omówiono praktyczne wykorzystanie tych badań w diagnozowaniu schorzeń narządu wzroku.

**Słowa kluczowe:** badania elektrofizjologiczne, potencjał czynnościowy, elektroretinografia, wzrokowe potencjały wywołane, elektromiografia, pole widzenia

### Abstract

The interdisciplinary aspects of measurements and processing of electrophysiological signals of the vision organ, are presented. Examinations based on non-invasive measurements of electrical potentials are described, including visual evoked potentials (VEP) and electroretinography (ERG).

Electrophysiological signals of the vision organ and procedures of their acquisition, are presented in details. The diagnostic characteristics obtained from electrophysiological examinations are presented, as well as the practical application in the diagnosis of the vision organ pathology, is described.

**Keywords:** electrophysiological examinations, action potential, electroretinography, visual evoked potentials, electromyography, field of view

### Wstęp

W artykule przedstawiono zagadnienie biopomiarów w obrębie narządu wzroku. Sygnały otrzymane w wyniku pomiarów mogą być naturalną cechą obiektu, jednak najczęściej są one wymuszone przez odpowiednio opracowane procedury pomiarowe. Sygnały te umożliwiają uzyskanie ilościowej oraz jakościowej informacji o badanym obiekcie, jednak zwykle są one zaszumione i mają bardzo niskie wartości, a ich detekcji dokonuje się w obecności silnych zakłóceń. Właściwości te powodują, że mierzone sygnały muszą być odpowiednio wzmacnione, filtrowane oraz skondycjonowane, umożliwiając jednoznaczne uwypuklenie ważnych informacji diagno-

stycznych. Istotna rola przypada tutaj technice komputerowej, która wspomaga zarówno realizację pomiarów i obróbkę ich wyników, jak i ułatwia dokumentowanie oraz archiwizację uzyskanych danych.

W dobie intensywnego rozwoju technologicznego oraz wzrastającej liczby chorób cywilizacyjnych ważną rolę w ocenie funkcjonowania organizmu człowieka odgrywa monitorowanie podstawowych parametrów narządu wzroku. Z opracowanych dotąd metod umożliwiających przeprowadzanie badań tego narządu najczęściej wykorzystywana jest metoda bazująca na rejestracji zjawisk elektrofizjologicznych. Pomiar pola elektromagnetycznego w danym obszarze kory mózgowej umożliwia badanie tych zjawisk. Oddziałując na oko określonym bodźcem świetlnym i stosując odpowiednio do tego przystosowane elektrody, można określić stopień uszkodzenia narządu wzroku. W tym celu wykorzystywane są otrzymane podczas badań krzywe elektrofizjologiczne, z których najczęściej wyznaczane są: wzrokowe potencjały wywołane (krzywa VEP) oraz elektroretinogram (krzywa ERG).

Podczas monitorowania i rejestracji sygnałów elektrofizjologicznych, należy zwrócić uwagę na:

- zapewnienie pacjentowi bezpieczeństwa,
- indywidualne parametry organizmu,
- występującą zmienność warunków pomiarowych.

Dobór odpowiednich procedur pomiarowych umożliwia wiarygodne pozyskanie i przetworzenie podstawowych parametrów mierzonych sygnałów oraz minimalizuje wpływ zakłóceń. Wiarygodne monitorowanie sygnałów elektrofizjologicznych narządu wzroku oraz ich poprawna ilościowa ocena są szczególnie istotne w przypadku schorzeń, które w fazie początkowej przebiegają bezobjawowo, umożliwiając ich wczesne wykrycie i ocenę stopnia zaawansowania. Badane parametry elektrofizjologiczne mogą być wykorzystane podczas diagnozowania schorzeń narządu wzroku oraz w badaniach przesiewowych.

### Rola oka w procesie widzenia

Narząd wzroku umożliwia odbieranie oraz analizę bodźców świetlnych docierających do oka z otaczającego środowiska. Składa się z gałki ocznej, zespołu mięśni, części ochraniającej oraz połączeń nerwowych, umożliwiających transmisję impulsów elektrycznych z gałki ocznej do części wzrokowej kory mózgowej. W przybliżeniu gałka oczna jest kulista, spłaszczona w osi pionowej. Jej średnica u dorosłego człowieka wynosi około 24 mm, a masa nie przekracza 7 gramów, przy objętości około 6,5 cm<sup>3</sup>. Oko człowieka przetwarza sygnał optyczny na elektryczny za pomocą współpracujących ze sobą dwóch układów: sensorowego i optycznego. Zadaniem układu optycznego jest transmisja padającego promieniowania i tworzenia obrazu, zaś zadaniem układu sensorowego jest przetworzenie fotonów odebranych przez elementy układu optycznego na sygnały elektryczne, które następnie przesyłane są do mózgu [1-3].

Proces widzenia rozpoczyna się w gałce ocznej, a kończy w części wzrokowej kory mózgowej. Światło po przejściu przez rogówkę, ciecz wodnistą oka, soczewkę i ciało szkliste dociera do siatkówki, gdzie w znajdujących się tam pręcikach i czopkach zamieniane jest na sygnał elektryczny. Czopki, których jest około 7 milionów, pochłaniają światło o określonej długości fali, charakteryzują się małą czułością, zwłaszcza przy słabym oświetleniu. Pręciki, których jest około 150 milionów, umożliwiają widzenie czarno-białe, przy słabym oświetleniu oraz rozróżnianie zarysów obrazu. Zamieniony w pręcikach i czopkach sygnał transmitowany jest za pośrednictwem nerwu wzrokowego do części wzrokowej kory mózgowej, w której jest odtwarzany i interpretowany tak, że wywołuje określone wrażenie wzrokowe.

Z procesem widzenia ściśle związane jest pojęcie pola widzenia. Pole widzenia każdego oka obejmuje kąt 160 stopni w osi poziomej oraz 145 stopni w osi pionowej. Można je podzielić na dwie nierówne części: zewnętrzną skroniową oraz wewnętrzną nosową, a linia podziału przebiega przez punkt, na którym skupiony jest wzrok. Część nosowa jest mniejsza i swym zasięgiem obejmuje kąt równy około 60 stopni, podczas gdy część skroniowa obejmuje kąt około 100 stopni. Pole widzenia określa się na podstawie badań perymetrycznych oraz elektrofizjologicznych badań narządu wzroku, opisanych w dalszej części artykułu.

## Rodzaje elektrofizjologicznych badań narządu wzroku

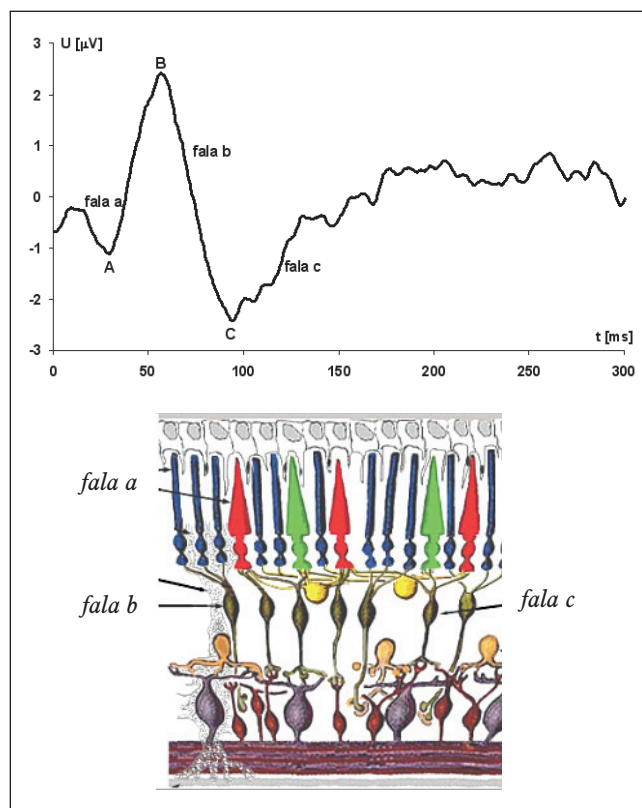
Pod wpływem bodźca świetlnego działającego na narząd wzroku powstaje potencjał czynnościowy, który powoduje przepływ prądu elektrycznego o niewielkiej wartości [4-7]. Obserwacja zmian elektrycznych potencjałów czynnościowych powstających w okolicach gałki ocznej, mięśni ocznych oraz mózgowej kory wzrokowej umożliwia zdiagnozowanie zmian chorobowych zachodzących w nerwie wzrokowym lub siatkówce. Większość elektrofizjologicznych badań narządu wzroku opiera się na bezinwazyjnym pomiarze wspomnianych potencjałów za pomocą odpowiednich elektrod. W zależności od sposobu rozmieszczenia elektrod oraz rodzaju mierzonych potencjałów elektrycznych rozróżnia się następujące typy badań elektrofizjologicznych wykorzystywanych w okulistyce:

- elektretinografia – ERG (*Electroretinography*),
- wywołane potencjały wzrokowe – VEP (*Visual Evoked Potential*),
- elektrookulografia – EOG (*Electrooculography*),
- elektromiografia – EMG (*Electromyography*).

## Elektretinografia

Elektretinografia ERG (*electroretinography*) jest odpowiedzią elektryczną oka na pobudzenie określonym bodźcem świetlnym, a jej głównym źródłem są znajdujące się w siatkówce pręciki i czopki [1, 8-10]. W warunkach fizjologicznych, pomiędzy zewnętrzną i wewnętrzną warstwą siatkówki oka występuje stały potencjał spoczynkowy, który zmienia wartość pod wpływem bodźca świetlnego. Zmiana ta powoduje pojawienie się czynnościowego potencjału elektrycznego złożonego z fazy szybkiej i wolnej, a jego rejestracja umożliwia wykreślenie elektretinogramu, zwanego przebiegiem ERG (rys. 1). Stopień uszkodzenia siatkówki diagnozowany jest na podstawie wartości ekstremów lokalnych A, B, C oraz czasów ich występowania.

Badanie ERG umożliwia przeprowadzenie obiektywnej oceny wrażliwości siatkówki na światło, a przy odpowiedniej adaptacji oka możliwe jest przeprowadzenie niezależnej oceny dla pręcików i czopków. W przypadku oceny czopków ba-



Rys. 1 Przykładowy przebieg ERG z charakterystycznymi punktami diagnostycznymi oraz miejscami powstawania fal składowych przebiegu ERG

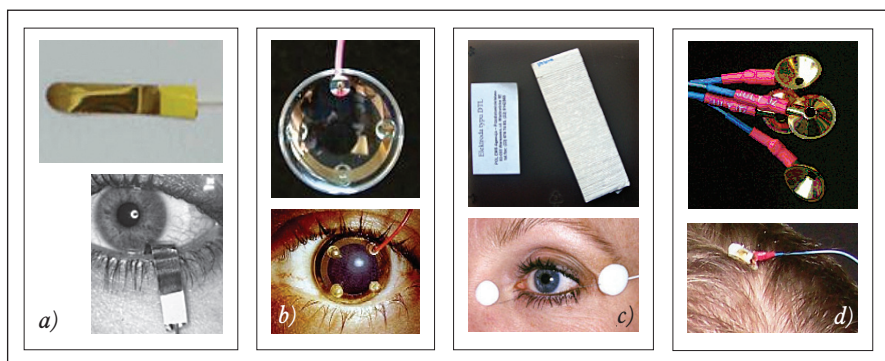
Źródło: [1,7]

danie przeprowadzane jest przy jasnym oświetleniu i nazywane ERG fotopowym. Podczas badania w ciemności pobudzane są tylko pręciki i badanie to nazywane jest ERG skotopowym. Badanie ERG – jako obiektywna metoda pomiarowa – bardzo często wykorzystywane jest u małych dzieci, dostarczając cennych wyników diagnostycznych [1]. Badanie to umożliwia diagnozowanie zmian organicznych siatkówki, które są wywołane:

- schorzeniami tapetoretinalnymi (np. zwyrodnieniem barwnikowym siatkówki),
- toksycznymi uszkodzeniami siatkówki,
- chorobami zwyrodnieniowymi i naczyniowymi siatkówki.

Szczególnym przypadkiem badania ERG jest PERG (*Pattern electroretinography*), która odzwierciedla aktywność komórek zwojowych siatkówki w polach recepcyjnych. Badanie to umożliwia wczesne wykrycie zaniku komórek zwojowych siatkówki, zanim wystąpią zmiany w polu widzenia możliwe do zdiagnozowania innymi metodami. Bardziej szczegółową ocenę stanu siatkówki umożliwia zastosowanie wielogniskowej elektretinografii MERG (*Multifocal Electroretinography*) [11-13]. Podczas tego badania siatkówka oka dzielona jest na wiele małych obszarów, dla których w sposób niezależny określone są przebiegi ERG. Zastosowanie badania MERG zmniejsza błędy związane ze zmieniającymi się warunkami podczas pomiaru, które mogłyby wystąpić podczas konwencjonalnego badania ERG, przeprowadzanego oddzielnie dla każdego obszaru siatkówki.

Krzywa ERG określana jest na podstawie pomiaru wspomnianych potencjałów czynnościowych, przeprowadzanego z wykorzystaniem specjalistycznych elektrod. Elektrodami tymi są elektrody naskórne oraz elektrody narógówkowe. Zgodnie z obowiązującymi standardami elektrody naskórne mocowane są za pomocą przeznaczonych do tego specjalistycznej pasty przewodzącej, gwarantującej odpowiednio niską



Rys. 2 Przykłady elektrod: a), b), c) – elektrody narogówkowe, d) – elektrody naskórne  
 Źródło: [1, 13, 17]

wartość impedancji połączenia elektrody ze skórą. Elektrody narogówkowe, po uprzednim znieczuleniu oka kroplami i zabezpieczeniu niedrażniącym roztworem przewodzącym, mocowane są bezpośrednio na rogówce. Elektrody narogówkowe mają różną konstrukcję. Najczęściej wykonuje się je w postaci złotych folii (rys. 2a), drucików wtopionych w szkło kontaktowe (rys. 2b) lub odpowiednio przystosowanej nitki (rys. 2c). Elektrody naskórne mają postać złotych lub srebrnych krążków o średnicy około 10 mm (rys. 2d).

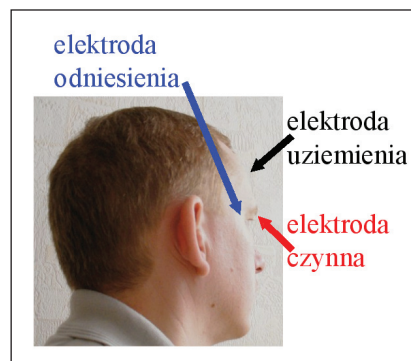
Obowiązujące standardy określają również miejsca aplikacji elektrod. Jak już wspomniano, elektrody czynne zakładane są bezpośrednio na rogówkę, elektrody odniesienia przyłożone są z boku głowy (na skroniach), natomiast elektroda uziemienia przyłożona jest na czole osoby badanej (rys. 3).

## Wzrokowe potencjały wywołane

Wzrokowe potencjały wywołane VEP (*Visual Evoked Potentials*) związane są z ruchem jonów i ładunków w strukturach nerwowych i odzwierciedlają aktywność bioelektryczną określonego obszaru kory mózgowej [1, 14-17]. Umożliwiają one ocenę przewodzenia siatkówkowo-korowego w nerwie wzrokowym oraz przewodzie wzrokowym i wykorzystywane są do obiektywnej i całkowicie bezinwazyjnej oceny całej drogi wzrokowej. Stan drogi wzrokowej określany jest na podstawie kształtu pobranej krzywych VEP (rys. 4), wartości lokalnych ekstremów (N75, P100, N135) oraz czasów ich trwania.

Przedstawione na rys. 4 przebiegi VEP rejestrowane są za pomocą specjalistycznych elektrod powierzchniowych, które przedstawiono na rys. 2d. Podobnie jak w opisanym wcześniej badaniu ERG, podstawowym ograniczeniem badania VEP jest odpowiedź z całej powierzchni siatkówki oraz odpowiadającego jej nerwu wzrokowego. Właściwość ta powoduje, że niewielkie defekty drogi wzrokowej mogą nie wywoływać zmian podstawowych parametrów krzywych VEP i w diagnostyce mogą zostać pominięte. Pobudzenie części pola widzenia w wielu przypadkach okazuje się bardziej skuteczne i umożliwia wczesne wykrycie niewielkich defektów nerwu wzrokowego. Badanie pojedynczych obszarów całej drogi wzrokowej umożliwia metoda wieloogniskowego VEP MVEP (*Multifocal Visual Evoked Potentials*), wykorzystująca koncepcję opisanego już wieloogniskowego elektroretinogramu [18-21]. Badania VEP wykorzystywane są do oceny całej drogi wzrokowej i wspomagają diagnostowanie:

- zaniku nerwu wzrokowego,
- zapalenia nerwu wzrokowego w odcinku wewnątrzgałkowym i pozagałkowym,
- obrzęku spowodowanego wysokim ciśnieniem wewnątrzczaszkowym,
- częściowego zaniku nerwu wzrokowego wynikłego z toksycznych uszkodzeń,
- pourazowego przecięcia nerwu wzrokowego,



Rys. 3 Miejsca aplikacji elektrod w badaniu ERG

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1]

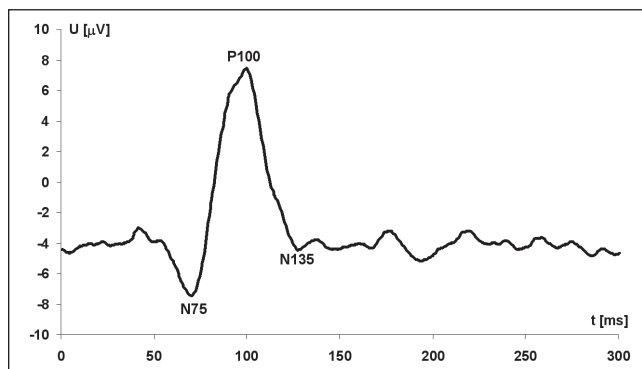
- jaskry,
- ośrodkowej choroby tarczycowej,
- oceny ostrości widzenia.

Badania VEP umożliwiają również skuteczne diagnozowanie stopnia uszkodzenia nerwu wzrokowego u pacjentów z utrudnionym kontaktem (np. osoby nieprzytomne, dzieci) oraz podczas operacji neurochirurgicznych mogących uszkodzić nerw wzrokowy.

Podczas badania VEP stosowane są tylko elektrody naskórne, takie same jak w badaniu ERG i podobnie, jak w tym badaniu miejsce oraz sposób ich aplikacji jest określony przez obowiązujące standardy. Elektrody te przyklejane są do skóry osoby badanej za pomocą specjalnej pasty lub żelu przewodzącego, zapewniającego utrzymanie właściwej wartości impedancji. Podczas badania wykorzystywany jest układ trzech elektrod (rys. 5a) lub siedmiu elektrod (rys. 5b). W obu przypadkach elektroda uziemienia umieszczana jest na czole pacjenta, a elektrody odniesienia na górze głowy. Natomiast elektrody czynne zakładane są na części potylicznej głowy, przy czym w układzie trzech elektrod jedną elektrodę czynną przykładają się na środku głowy, a w układzie siedmiu elektrod jedna umieszczana jest na środku, a dwie pozostałe po jej bokach, w odległości około 5 cm od elektrody środkowej.

## Elektrookulografia

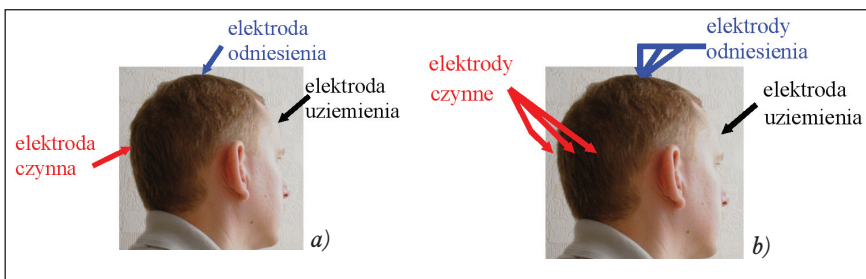
Elektrookulografię EOG (*Electrooculography*), podobnie jak badanie ERG, wykorzystuje się do diagnozowania schorzeń siatkówki i jest ona uzupełnieniem badania ERG, zwłaszcza w niektórych chorobach plamki żółtej. Określany podczas tego badania potencjał czynnościowy rejestrowany jest przy wymuszonych ruchach oka i jego amplituda zależy od położenia



Rys. 4 Przykładowy przebieg VEP z charakterystycznymi punktami diagnostycznymi

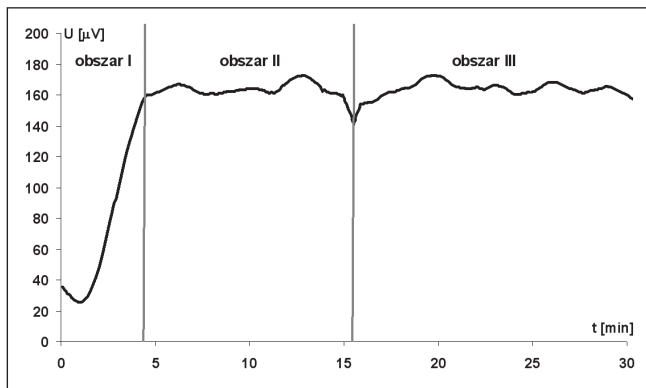
Źródło: [1]





Rys. 5 Miejsca aplikacji elektrod w badaniu VEP

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [1]



Rys. 6 Przykładowy przebieg EOG

Źródło: [1]

gałki ocznej. Wynikiem badania EOG jest krzywa przedstawiona na rys. 6, w której po gwałtownym wzroście amplitudy w czasie preadaptacji (obszar I) następuje stabilizacja w obszarze adaptacji skotopowej (obszar II), a następnie pojawia się tzw. etap szybkiej oscylacji w obszarze adaptacji fotonowej (obszar III).

## Elektromiografia

Badanie elektromiograficzne EMG (Electromyography) polega na rejestracji potencjałów elektrycznych powstających we włóknach mięśni oczu podczas ich skurczu wywołanego świetlnym impulsem wymuszającym. Badanie przeprowadzane jest z wykorzystaniem naskórných elektrod powierzchniowych, umieszczonych na skórze pacjenta powyżej badanego mięśnia. Badanie EMG stosuje się do diagnozowania:

- uszkodzenia mięśni oczu w zakończeniach nerwowo-mięśniowych,
- porażenia lub niedowładu mięśni oczu,
- współpracy obuocznej przy ruchach dowolnych i odruchowych,
- przewodnictwa we włóknach czuciowych i ruchowych nerwów obwodowych.

## Elektronystagmografia

Elektronystagmografia ENG (*Electronystagmography*) jest nierzadziej wykorzystywanym elektrofizjologicznym badaniem narządu wzroku. Wykorzystuje się ją do oceny oczopląsu, przede wszystkim w chorobach układu nerwowego i narządu równowagi; stosowana jest głównie w neurologii i otolaryngologii.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono zjawiska zachodzące w obiekcie biologicznym, który w celach pomiarowych poddawany jest

działaniu promieniowania optycznego. Dwa wnoszące najwięcej korzyści diagnostycznych, elektrofizjologiczne badania narządu wzroku przedstawiono szczegółowo. Jednym z badań jest elektrotretinografia (ERG), która obecnie jest powszechnie stosowana podczas diagnozowania schorzeń siatkówki oka. Drugim z badań są wzrokowe potencjały wywołane (VEP), umożliwiające diagnozowanie schorzeń nerwu wzrokowego. Badanie to w połączeniu z badaniem ERG umożliwia wczesne wykrycie różnych schorzeń

narządu wzroku. Często są to uzupełniające się metody, umożliwiające dokładne, bezinwazyjne i obiektywne diagnozowanie schorzeń narządu wzroku.

Omówione badania, przeprowadzane w sposób nieinwazyjny, są trudne zarówno w realizacji, jak i w analizie. Ponieważ badane sygnały są naturalną odpowiedzią na określony bodziec świetlny, wartości charakterystycznych parametrów są bardzo małe i narażone na zakłócenia pochodzące od pól elektromagnetycznych oraz szumów własnych aparatury pomiarowej. Podczas przeprowadzania badania należy wyeliminować źródła pola elektromagnetycznego (np. telefon komórkowy) [22] oraz zapewnić poprawne ułożenie przewodów łączących elektrody z aparaturą pomiarową. Na jakość pomiaru mają również wpływ uwarunkowania fizjologiczne osoby poddawanej badaniu. Wartości poszczególnych parametrów w dużej mierze zależą więc od parametrów związanych z cechami tej osoby, wśród których należy wymienić: zażywane leki, wiek, płeć, wzrost oraz ewentualną wadę wzroku. W przypadku nieprawidłowej ostrości widzenia otrzymane amplitudy przyjmują wartości niższe w porównaniu z badaniami przeprowadzonymi przy prawidłowej ostrości. Wszystkie te parametry należy uwzględnić podczas przeprowadzania badania oraz w analizie pozyskanych danych, co nie jest proste w realizacji. Na wartości otrzymanych parametrów wywiera również wpływ pozycja podczas badania. Nieprzestrzeganie zasad dotyczących położenia badanego oka oraz nieprawidłowe oświetlenie pomieszczenia może znacznie zmienić wartości zmierzonych parametrów.

Wiarygodne monitorowanie elektrofizjologicznych sygnałów narządu wzroku oraz ich ocena ilościowa ma duże znaczenie w okulistyce. Monitorowanie parametrów krzywych ERG i VEP pozwala na wczesne rozpoznanie uszkodzenia drogi wzrokowej, zwłaszcza u małych dzieci, osób niesprawnych intelektualnie czy nieprzytomnych. Opisane badania poszerzają możliwości diagnostyczne oraz umożliwiają obiektywną ocenę ostrości widzenia, czy też stopnia uszkodzenia pola widzenia.

## Literatura

1. A. Hulewicz: *Modelowanie i pomiary elektrofizjologicznych sygnałów narządu wzroku, rozprawa doktorska*, Politechnika Poznańska, Poznań 2009.
2. Z. Dunajski, T. Pańko: *Localization of electrical activity in the brain*, proc. of the XI Conference Medical Informatics & Technologies 2006, October-November 2006, s. 111-114.
3. Z. Dunajski, T. Pańko: *Wizualizacja parametrów i aktywności elektrycznej mózgu*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 11, 2006, s. 15-19.
4. A. Cysewska-Sobusiak: *Modelowanie i pomiary sygnałów biooptycznych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
5. W.Z. Traczyk: *Fizjologia człowieka w zarysie*, PZWL, Warszawa 1992.

6. L. Kalinowski: *Encyklopedia badań medycznych*, MAKmed, Gdańsk 1996.
7. P. Oziemblewski: *Technika światła od podstaw*, <http://www.swiatlo.tak.pl>.
8. A. Hulewicz, A. Cysewska-Sobusiak, A. Grzybowski, M. Bołtrukiewicz: *Badania elektrofizjologiczne w okulistyce – pozyskiwanie i analiza sygnałów pomiarowych*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 9, 2005, s. 13-17.
9. O. Palacz, W. Lubiński, K. Penkala: *Elektrofizjologiczna diagnostyka kliniczna układu wzrokowego*, Wyd. Oftal, Warszawa 2003.
10. M.F. Marmor, A.B. Fulton, G.E. Holder, Y. Miyake, M. Brigell: *ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography*, *Documenta Ophthalmologica*, vol. 118, 2009, s. 69-77.
11. A. Cysewska-Sobusiak, A. Hulewicz, A. Grzybowski, M. Bołtrukiewicz: *Obtaining and analysis of multifocal electroretinogram*, *Proc. of the 3rd European Medical and Biological Engineering Conference, Prague, Czech Republic, IFMBE Proceedings*, vol. 11, 2005, s. 1-6.
12. A. Hulewicz, A. Cysewska-Sobusiak, A. Grzybowski, M. Bołtrukiewicz: *Pozyskiwanie i analiza wieloogniskowego elektroretinogramu*, *Mat. VII Sympozjum Modelowanie i Pomiary w Medycynie MPM 2005*, Krynica Górská, 8-12 maja 2005, s. 185-192.
13. RETIscan: *Elektroretinogram wieloogniskowy*, Wersja 1.34, Podręcznik, Roland Consult, 2004.
14. D.A. Szabela: *Potencjały wywołane w praktyce lekarskiej*, Łódzkie Towarzystwo Naukowe, wyd. 1, Łódź 1999.
15. W. Szelenberger: *Potencjały wywołane*, ELMIKO, wyd. 1, Warszawa 2001.
16. J.V. Odom, M. Bach, C. Barber i in.: *Visual evoked potentials standard*, *Documenta Ophthalmologica*, vol. 108, 2004, s. 115-123.
17. RETIport21: *VEP, EOG, ERG Version 06.02, Instruction manual*, Roland Consult, 2006.
18. A. Hulewicz, A. Cysewska-Sobusiak, M. Bołtrukiewicz, A. Grzybowski: *Pozyskiwanie i ocena statystyczna wieloogniskowych wzrokowych potencjałów wywołanych*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 5 bis, 2006, s. 149-155.
19. A. Hulewicz, A. Cysewska-Sobusiak, A. Grzybowski: *Wieloogniskowe wzrokowe potencjały wywołane – problemy metrologiczne oraz korzyści diagnostyczne*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 9 bis, 2007, s. 386-389.
20. A. Hulewicz, A. Cysewska-Sobusiak, A. Grzybowski: *Zastosowanie wzrokowych potencjałów wywołanych w obiektywnej ocenie ostrości wzroku*, *Elektronika – konstrukcje, technologie, zastosowania*, nr 6, 2008, s. 72-74.
21. A. Martins, A. Klistorner, S. Graham, F. Billson: *Effect of fixation tasks on multifocal visual evoked potentials*, *Clin Experiment Ophthalmol.*, vol. 33, 2005, s. 499-504.
22. T. Pałko, Z. Dunajski: *Wpływ telefonii komórkowej na urządzenia medyczne*, <http://www.polaelektromagnetyczne.pl>.

otrzymano / received: 15.03.2010 r.  
zaakceptowano / accepted: 27.07.2010 r.