

(89)

Elektroretinogram wieloogniskowy

Multifocal electroretinogram

Joanna A. Stępień¹, Herbert Jaegle¹,
Maciej W. Stępień¹, Wojciech Omulecki²

¹Z Kliniki Okulistycznej Uniwersytetu w Tybindze, RFN
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Eberhart Zrenner

²Z Kliniki Chorób Oczu Uniwersytetu Medycznego w Łodzi
Kierownik: dr hab. n. med. Wojciech Omulecki

Summary: The paper presents current state of knowledge concerning the multifocal electroretinography (mfERG). The theoretical basis of this technique, procedure, methods and examples of use in clinical diagnostics are presented.

Słowa kluczowe: elektroretinografia, elektroretinogram wieloogniskowy, choroby siatkówki.

Key words: electroretinography, multifocal electroretinogram, retinal diseases.

Wstęp

Elektrofizjologia w okulistyce jest działem nauki zajmującym się obiektywną oceną czynności drogi wzrokowej. Zastosowanie metod elektrofizjologicznych poprzez rejestrację zmian potencjałów elektrycznych, powstających w układzie wzrokowym, pozwala na ocenę jego funkcji. Prowadzone od wielu lat badania przyczyniły się do pogłębienia wiedzy na temat fizjologii oraz zjawisk leżących u podłoża procesu widzenia. Ponadto metody te pozwalają wykrywać procesy patofizjologiczne, przez co są powszechnie wykorzystywane w badaniach doświadczalnych i diagnostyce klinicznej.

Wśród metod klinicznych diagnostyki elektrofizjologicznej najczęściej wykorzystywane są te, które umożliwiają ocenę czynności siatkówki. Można je podzielić, ze względu na wielkość obszaru stymulacji, na elektroretinografię całopolową (ang. fullfield ERG) lub inaczej błyskową (ang. flash ERG-FERG), w której zapis dotyczy uogólnionej odpowiedzi elektrycznej, generowanej przez komórki nerwowe (fotoreceptory i komórki dwubiegunowe) i nienerwowe (komórki gębowe Müllera) siatkówki, oraz elektroretinografię plamkową, zwaną również ogniskową (ang. foveal lub focal ERG – FCERG) (2). Do metod służących ocenie funkcji centralnej siatkówki należy również ERG przy stymulacji wzorcem (ang. pattern ERG – PERG) (2).

ERG całopolowe (błyskowe) jest masową odpowiedzią siatkówki w wyniku stymulacji bodźcem świetlnym i umożliwia wykrycie zmian obejmujących znaczne jej obszary. Badanie to nie dostarcza jednak informacji o ich topografii. Pomimo to zajmuje bardzo istotne miejsce w diagnostyce różnicowej chorób przebiegających z uszkodzeniem układu czopkowego i/ lub pręcikowego, a także w monitorowaniu ich przebiegu i leczenia (13). FCERG pozwala natomiast na ocenę funkcji w rejonie dołeczka i dołka, czyli centralnej siatkówki w zakresie 10 stopni lub mniejszym (2,14). Należy podkreślić, że schorzenia dotyczące tego obszaru nie wywołują zmian patologicznych w ERG całopolowym (2,13).

Istnieją jednak jednostki chorobowe, w których diagnostyce, szczególnie w stadiach początkowych lub w przypadku postaci nie-

typowych, wyżej wymienione metody nie zawsze są w pełni wystarczające do prawidłowego postawienia diagnozy. Są to schorzenia zajmujące ograniczone obszary siatkówki, często nieobjawiające okolicy plamki. Do takich możemy zaliczyć dystrofię siatkówki oraz choroby o podłożu naczyniowym. Co więcej, zaburzenia te w swych początkowych stadiach często dotyczą charakterystycznych obszarów siatkówki. Topograficzne obrazowanie zmian czynnościowych ułatwiłoby zatem wczesne rozpoznanie tych chorób. Możliwość taką daje błyskowa elektroretinografia wieloogniskowa (ang. multifocal ERG – mfERG). Metoda ta została opisana na początku lat dziewięćdziesiątych przez Suttera i Trana (16). Pozwala ona na jednoczesny zapis odpowiedzi elektrycznej z wielu małych obszarów siatkówki. MfERG jest badaniem obiektywnym, nieinwazyjnym i powtarzalnym (14). Obecnie nie ma opublikowanych standardów dotyczących jego stosowania w diagnostyce klinicznej. Technika ta jest więc nowa i do pewnego stopnia nadal eksperymentalna. Międzynarodowe Towarzystwo Elektrofizjologii Klinicznej (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision – ISCEV) ustaliło wytyczne dotyczące przeprowadzania mfERG (Guidelines for Basic Multifocal Electroretinography mfERG) (11). Dokument ten, choć nie stanowi standardu, ma umożliwić ujednoczenie procedury wykonywania mfERG, ułatwiając badającemu otrzymanie powtarzalnych i pozbawionych artefaktów wyników. Zalecenia ICSEV obejmują parametry stymulacji, techniki elektrodowe, wymagania aparaturowe oraz elementy protokołu klinicznego. W naszym artykule zostaną przedstawione podstawy teoretyczne, sposób wykonywania oraz przykłady klinicznego wykorzystania mfERG.

Podstawy teoretyczne

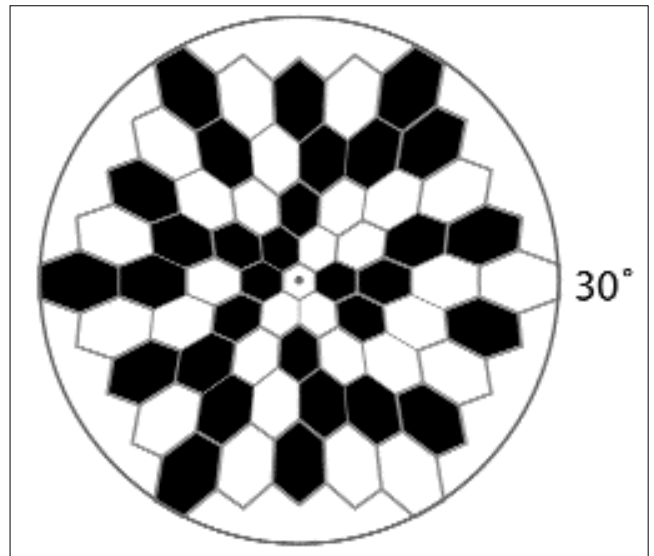
Do stymulacji układu wzrokowego wykorzystywany jest bodziec zapewniający uzyskanie odpowiedzi z obszaru 20-30° centralnej siatkówki. Ma on postać wzorca składającego się z elementów geometrycznych, standardowo sześciokątów w liczbie 61, 103 lub 241 w kolorze biało-czarnym (11). Rycina 1 prezentuje wzorec mfERG zawierający 61 elementów, wykorzystywany najczęściej w diagno-

stycie klinicznej. Sześciokąt centralny odpowiada rejonowi plamki, jest najmniejszy i zawiera punkt fiksacji. Pozostałe, otaczające go elementy mają tak dobrane pola powierzchni, że odpowiadają obszarom siatkówki mającym zbliżoną liczbę receptorów czopkowych (16). Ponieważ liczba czopków maleje w kierunku obwodu siatkówki (13), sześciokąty odpowiadające temu obszarowi zwiększają swoją powierzchnię. Podczas stymulacji każdy element wzorca jest prezentowany zgodnie z pseudolosową sekwencją, tzw. m-sekwencją (ang. maximum length sequence). M-sekwencja dla każdego elementu jest opóźniona w czasie, co pozwala uzyskać jednocześnie niezależne odpowiedzi z wielu obszarów siatkówki (16). W każdej chwili badania 50% elementów ma wysoką jasność, a reszta niską. Innymi słowy dla każdego sześciokąta istnieje prawdopodobieństwo bycia czarnym lub białym wynoszące 0,5. Powoduje to stałą jasność ekranu, zapewniając jednakowy poziom adaptacji (2,5). Częstotliwość błysku (37,5 Hz) i średnia jasność prezentowanego obrazu powodują, że odpowiedzi elektryczne uzyskiwane w mfERG pochodzą z receptorów czopkowych (5,15).

Dane uzyskane podczas badania są opracowywane komputerowo z użyciem zależności krzyżowej pomiędzy m-sekwencją a cyklem odpowiedzi. Pozwala to wyodrębnić z ogólnej odpowiedzi ERG sygnał dla każdego sześciokąta (obszaru siatkówki). Określa się go jako komponent pierwszego rzędu (ang. first order component lub first order kernel) i jest to uśredniony wykres odpowiedzi z danego pola siatkówki, pozbawiony wpływów ze stymulacji rejonów sąsiadujących (5). Za pomocą analizy komputerowej istnieje również możliwość uzyskania komponentów wyższych rzędów, przedstawiających wynik czasowych zależności pomiędzy sekwencjami błysków. Na rycinie 2 zaprezentowano schematycznie podstawy uzyskania komponentu I rzędu. Odpowiedź z danego sześciokąta stanowi różnicę wartości zapisu ERG pomiędzy sygnałem uzyskanym po prezentacji białego sześciokąta a tym otrzymanym po prezentacji czarnego (16). W ten sposób zostaje wyodrębniona odpowiedź ERG z rozpatrywanego obszaru siatkówki. Sześciokąty oznaczone kolorem szarym ilustrują poprzedzającą stymulację, a ich jasność w przypadku obliczania komponentu pierwszego rzędu nie jest brana pod uwagę. Rycina 3 przedstawia schematycznie komponent I rzędu odpowiedzi mfERG. Jest to krzywa składająca się z pierwszego załamka ujemnego (N1) i drugiego załamka dodatniego (P1), po którym może wystąpić załamek ujemny (N2). Amplitudę fali N1 określa odległość mierzona od linii izoelektrycznej do maksymalnego zagłębienia fali, fali P1 – od maksymalnego zagłębienia fali N1 do szczytu fali P1 oraz fali N2 – od jej maksymalnego zagłębienia do linii izoelektrycznej. Czas utajenia oznacza okres, który upłynął od zadziałania bodźca do wystąpienia szczytu odpowiedniej fali. Załamki w mfERG kształtem przypominają te uzyskiwane w ERG całopolowym, natomiast ich pochodzenie wydaje się nieco inne niż fal a i b (7). Z badań przeprowadzonych przez Hooda i wsp. wynika, że załamek N1 odpowiada składowym fali a, natomiast załamek P1 jest kombinacją odpowiedzi pozytywnych uzyskiwanych w ERG całopolowym (fala b oraz potencjały oscylacyjne) (6).

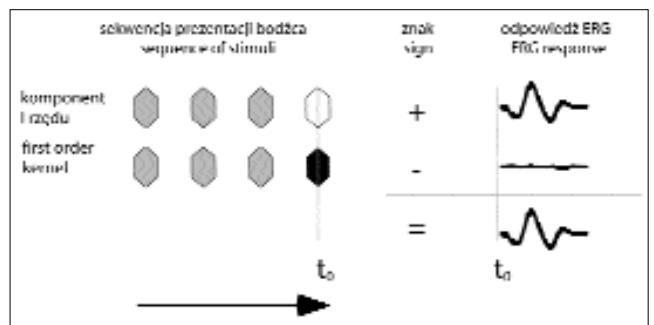
Przeprowadzanie badania

Aparatura służąca do wykonania mfERG składa się z monitora, na którym prezentowany jest bodziec, oraz wzmacniacza połączonego z komputerem zapisującym i analizującym dane. W trakcie badania sygnał elektryczny z siatkówki odbierany jest przez odpowiednio umieszczone elektrody, wzmacniany, a następnie przekazywany do komputera. Z dostępnej obecnie na rynku aparatury naj-



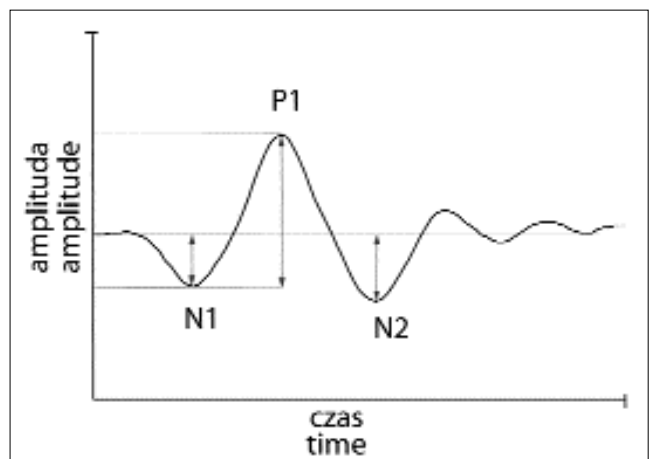
Ryc. 1. Wzorec mfERG złożony z 61 sześciokątów. Najczęściej jest wykorzystywany do stymulacji obszaru centralnej siatkówki o powierzchni 30°.

Fig. 1. MfERG hexagonal array consists of 61 stimulus elements. Most frequently it stimulates 30° of the central retina.



Ryc. 2. Schemat uzyskania komponentu I rzędu dla pojedynczego obszaru siatkówki. Komponent I rzędu powstaje poprzez sumowanie odpowiedzi uzyskanych po prezentacji białego sześciokąta oraz odejmowanie tych uzyskanych po prezentacji czarnego elementu.

Fig. 2. Schematic derivation of first order kernel responses for a single retinal region. First order summates responses to white hexagons and subtracts responses to black hexagons.



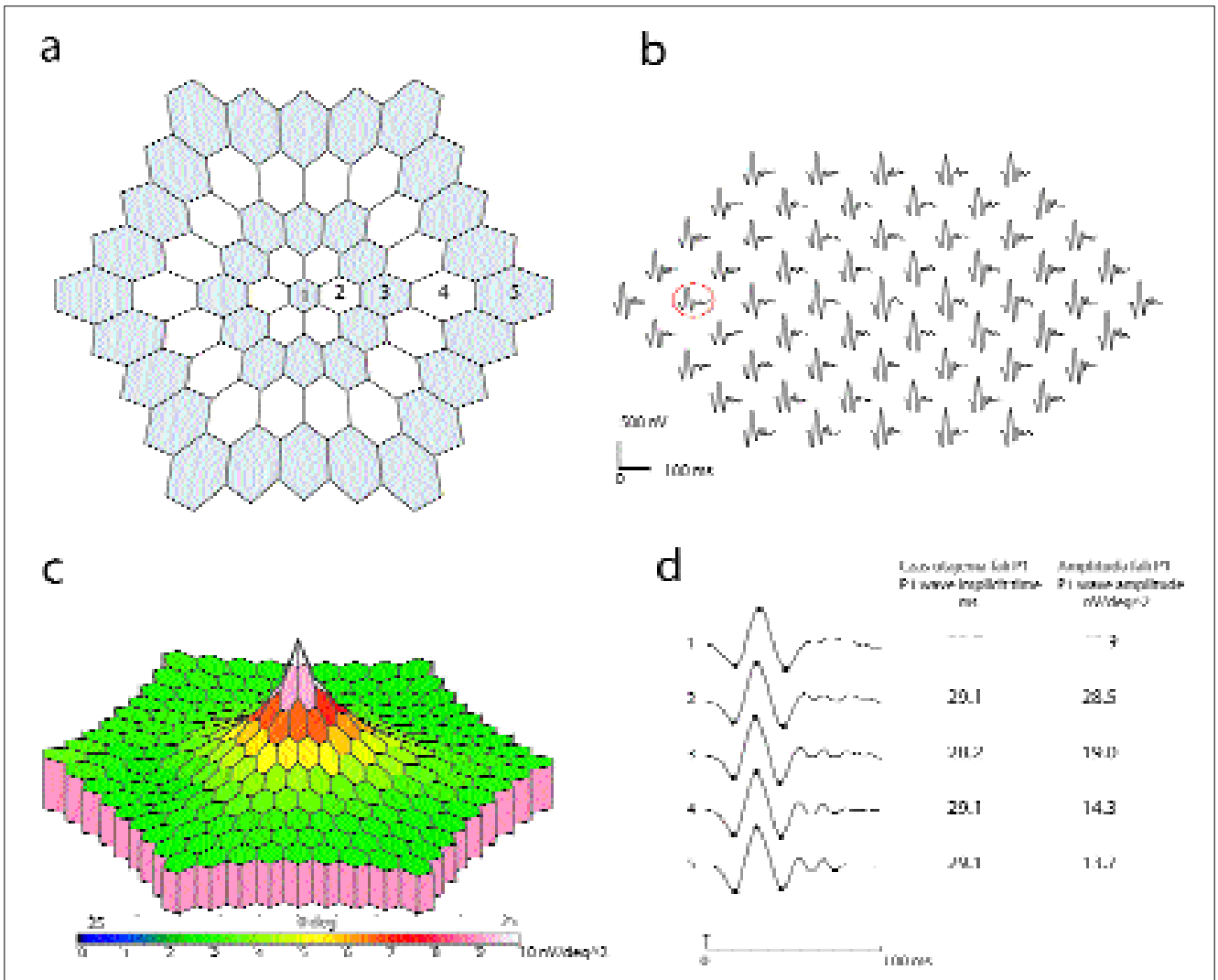
Ryc. 3. Zapis mfERG przedstawiający komponent I rzędu (opis w tekście).

Fig. 3. First order component of the mfERG response (see description in the text).

częściej stosowane są dwa systemy: VERIS™ (Visual Evoked Response Imaging System) – EDI, San Mateo, CA, USA oraz Reti-Scan™ system – Roland Consult, Wiesbaden, RFN (8).

Standardowo badanie za pomocą wzorca zawierającego 61 sześciątów trwa około 4 minut i jest podzielone na szesnaście 15-sekundowych etapów. Zaletami takiego sposobu przeprowadzania pomiaru są: 1. wysoki komfort badanego, 2. możliwość powstrzymania odruchu mrugania, 3. możliwość powtórzenia każdej części osobno. Przed przystąpieniem do pomiaru, który wykonuje się w warunkach fotopowych, badany powinien przebywać przez 15 minut w oświetlonym pomieszczeniu (11). Jeśli wcześniej miała miejsce ekspozycja na silne światło (słoneczny dzień, zdjęcie dna oka), czas preadaptacji należy przedłużyć. Źrenice powinny być w pełni rozszerzone. Gdy ustawienie gałek ocznych jest prawidłowe, badanie można wykonać obuocznie. W przypadku choroby

zazowej, uniemożliwiającej jednoczesną prawidłową fiksację, należy je wykonać dla każdego oka osobno. Sygnał ERG uzyskiwany jest za pomocą gałkowych elektrod dwu- lub jednobiegunowych. Te ostatnie wymagają zastosowania skórnych elektrod referencyjnych, umieszczanych w pobliżu kątów zewnętrznych szpar powiekowych. Elektrode uziemiającą umieszcza się na skórze czoła lub na płatku usznym. Elektrody gałkowe różnią się przede wszystkim stopniem tolerancji przez pacjenta, jakością otrzymywanych wyników oraz kosztem. Do najczęściej stosowanych należą jednobiegunowa, spojówkowa elektroda Dawson-Trick-Litzkow (DTL) oraz dwubiegunowa elektroda Burian-Allen w postaci soczewki kontaktowej. Prawidłowe założenie elektrod zapewnia odpowiednio niski poziom impedancji (<5 kW) (12). Podczas pomiaru badany kieruje wzrok na sześciokąt centralny. Wielkość punktu fiksacji jest regulowana w zależności od ostrości wzroku tak, aby był on dobrze



Ryc. 4. Wyniki mfERG uzyskane od zdrowej kobiety (lat 35, oko lewe). A – szablon stymulacji złożony z 61 elementów. Elementy tworzą pięć koncentrycznie układających się pierścieni. B – topograficzna prezentacja krzywych odpowiedzi. Obszar odpowiadający plamie ślepej oznaczono czerwonym kółkiem. C – uśrednione odpowiedzi z pięciu pierścieni oraz wartości amplitud (gęstość odpowiedzi) i czasów utajenia fali P1. Należy zwrócić uwagę, że krzywe ERG przedstawione są w postaci znormalizowanej i nie odpowiadają bezwzględny wartościom poszczególnych amplitud. D – wykres trójwymiarowy odpowiedzi mfERG, przedstawiający gęstość odpowiedzi dla poszczególnych elementów.

Fig. 4. The mfERG of a left eye of a normal subject aged 35. A – hexagon array of the 61 elements. They comprise 5 concentric rings. B – trace array of the mfERG responses of the first order kernel. The hexagon that corresponds to the blind spot is marked with a red circle. C – averaged responses of 5 concentric rings with the P1 wave amplitudes (response density scaled) and implicit times values. Note that mfERG curves are normalized and do not correspond to the absolute amplitudes values. D – 3D-plot of the response density.

widoczny dla badanego, a jednocześnie pokrywał jak najmniejszą powierzchnię centralnego pola stymulacji. Uzyskany podczas pomiaru sygnał ERG jest odpowiednio wzmacniany, filtrowany, a następnie poddawany analizie komputerowej. Do jej etapów należy wyeliminowanie artefaktów wynikających z drobnych ruchów gałek ocznych, mrugania czy chwilowego gorszego kontaktu elektrod z okiem oraz uśrednianie odpowiedzi ERG. Celem tych zabiegów jest poprawienie stosunku sygnału do szumu (11).

Prezentacja wyników

Otrzymane wyniki można przedstawić na kilka sposobów. Pierwszym i podstawowym (wg ISCEV) jest topograficzna, zgodna z wzorcem bodźca, prezentacja krzywych odpowiedzi (ang. trace array). Umożliwia ona wstępną jakościową ocenę rezultatów: obecność ewentualnych zaburzeń, ich położenie, a przede wszystkim jakość wykonanego badania. Na rycinie 4 przedstawiono wyniki uzyskane z oka lewego zdrowej kobiety w wieku 35 lat. Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z zaleceniami ISCEV z użyciem systemu VERIS za pomocą wzorca składającego się z 61 elementów (ryc. 1, 4a). Rycina 4b prezentuje topografię odpowiedzi komponentu I rzędu. Dzięki odpowiedniemu dopasowaniu pola powierzchni sześciokątów, zgodnie z rozmieszczeniem receptorów czopkowych, wielkości amplitud uzyskanych z poszczególnych obszarów są porównywalne. Na rycinie 4 w rejonie siatkówki zawierającym ślepą plamę, który zlokalizowany jest po lewej stronie (analogicznie do badania pola widzenia), odpowiedź jest słabsza.

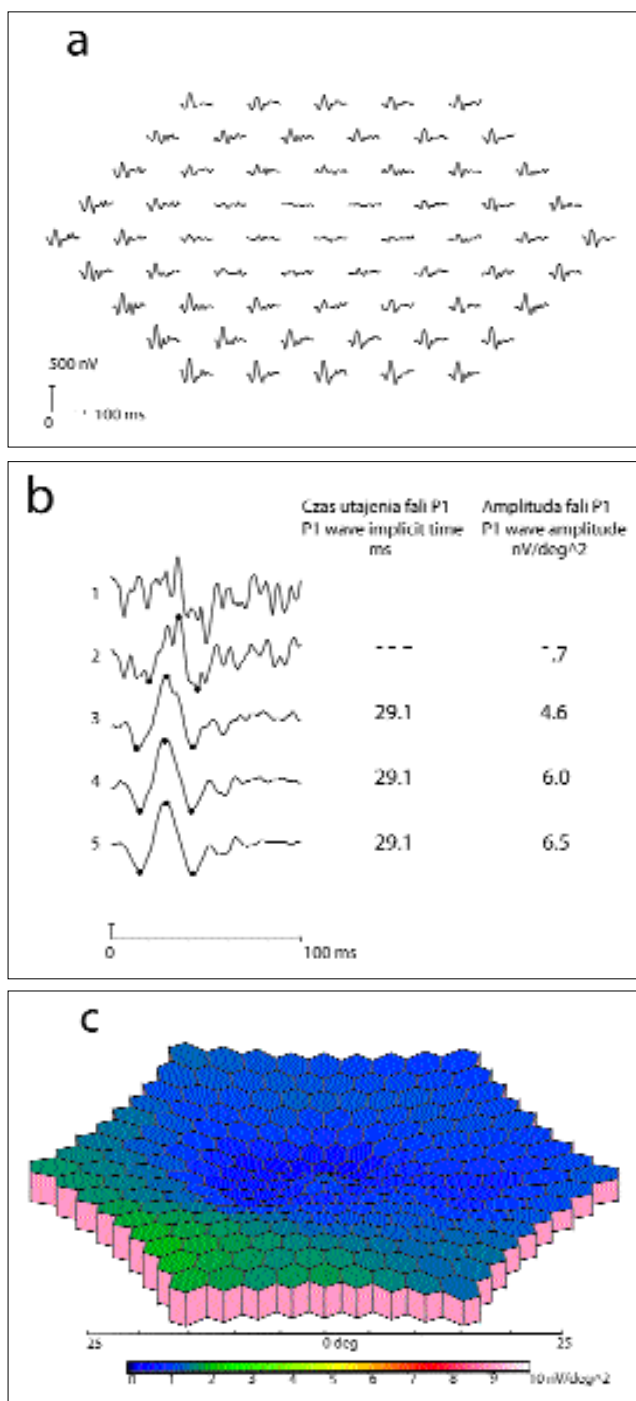
Kolejnym sposobem prezentacji wyników są uśrednione odpowiedzi z określonego rejonu siatkówki (ang. group averages). Najczęściej ocenia się obszary w postaci pierścieni, układających się koncentrycznie wokół plamki (ryc. 4a). Jest to przydatne w przypadku podejrzenia wrodzonych dystrofii siatkówki (zwyrodnienia barwnikowego, makulopatii, dystrofii czopkowych) (8,11). Wybierając inne regiony, można porównywać odpowiedzi z kwadrantów części skroniowej względem nosowej, zarówno w obrębie jednego oka, jak również względem symetrycznego obszaru w drugim oku. Na rycinie 4c przedstawiono średnie grupowe odpowiedzi mfERG uzyskane z pięciu koncentrycznych regionów. Krzywe prezentowane są w postaci znormalizowanej, w której załamki z poszczególnych pierścieni mają jednakową wielkość. Ułatwia to ilościową interpretację wyników. Polega ona na ocenie amplitudy i czasu utajenia załamków mfERG. Zgodnie z zaleceniami ISCEV rutynowo powinno się oceniać amplitudy i czasy utajenia fal N1 i P1. W praktyce klinicznej jednak wykorzystuje się najczęściej parametry załamka P1 (15). Wartości amplitud przelicza się rutynowo na pole powierzchni stymulowanego obszaru, co pozwala ocenić tzw. gęstość odpowiedzi. Każda pracownia elektrofizjologii powinna dysponować własnymi normami wartości dla poszczególnych grup wiekowych. Jest to konieczne ze względu na różnice w stosowanym sprzęcie i używanych elektrodach (11).

Trzecią możliwością prezentacji wyników jest trójwymiarowy wykres przedstawiający uśrednione odpowiedzi dla każdego sześciokąta. Ten sposób prezentacji danych nie pozwala na obiektywną ocenę jakości wykonanego badania, dlatego nie powinien być analizowany osobno (11). W przypadku słabego sygnału z centralnej siatkówki (np. w makulopatii) może zostać mylnie zinterpretowany (15). Rycina 4e przedstawia trójwymiarowy wykres, na którym wyraźnie widoczne są silne odpowiedzi uzyskiwane z rejonu plamki (charakterystyczny szczyt) oraz słabe z obszaru plamy ślepej.

Wybrane przykłady wykorzystania mfERG w praktyce klinicznej

Makulopatie

W makulopatiach odpowiedzi uzyskiwane w fotopowym ERG błyskowym mieszczą się często w granicach normy lub nieznacznie poniżej (15). Dzieje się tak, ponieważ w rejonie plamkowym (obszar centralnej siatkówki o średnicy 5 mm), pomimo wysokiej gęstości, znajduje się według różnych autorów jedynie od 7% do 9% populacji czopków (1,13). Ubytek funkcji w tym obszarze lokalizuje jed-



Ryc. 5. Wyniki mfERG uzyskane z oka prawego mężczyzny z chorobą Stargarda i typowym przebiegiem klinicznym (opis w tekście).

Fig. 5. The mfERG results of a right eye of a male patient with a diagnosis of Stargardt macular dystrophy (see description in the text).

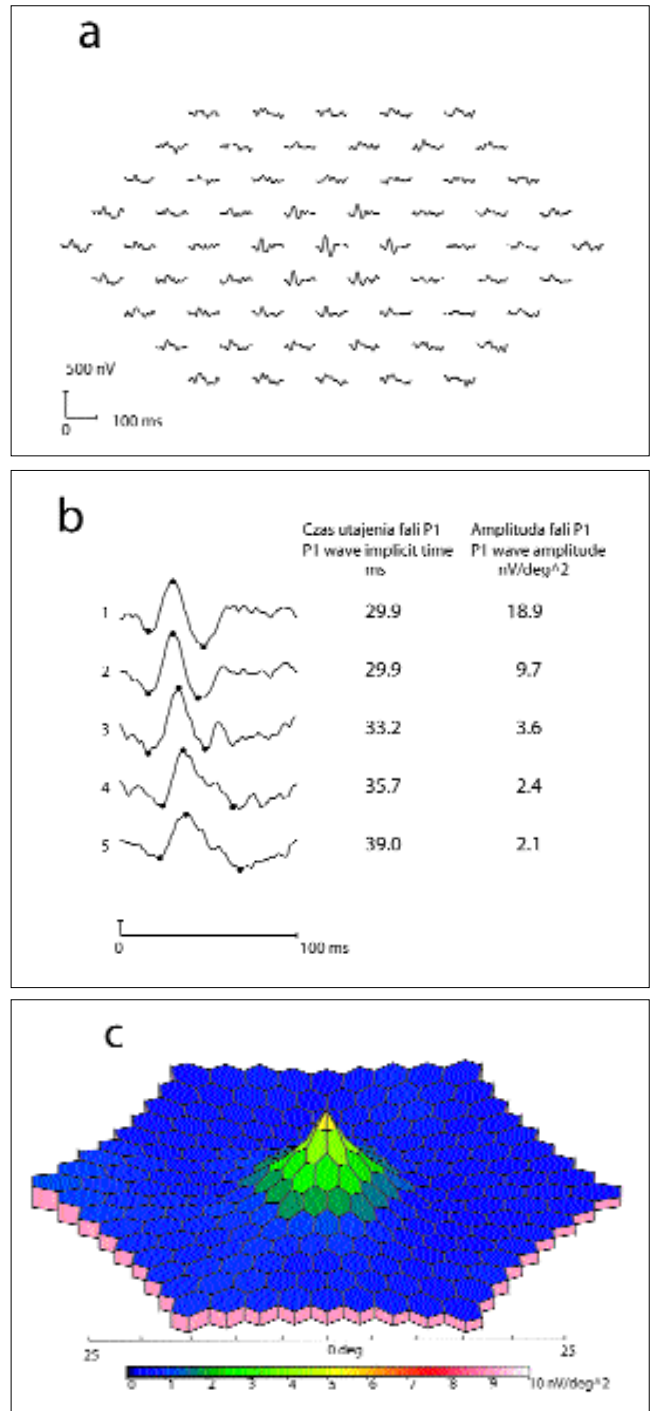
nak mfERG. Odpowiedzi uzyskane z rejonu plamki są znacznie obniżone lub ich brak, natomiast te z pozostałej części siatkówki są zachowane (8,15). Dzieje się tak np. w chorobie Stargardta (10), w starym zwyrodnieniu plamki (9), chorobie Besta oraz w retinopatii surowiczej centralnej. Na rycinie 5 przedstawiono wyniki mfERG z oka prawego pacjenta w wieku 39 lat z chorobą Stargardta i typowym obrazem klinicznym. Topograficzna prezentacja krzywych ERG (ryc. 5a) pozwala na lokalizację zaburzeń, w tym przypadku w okolicy plamki. Średnie grupowe ukazują charakterystyczny brak sygnału z okolicy dołeczka (pierścień 1. na ryc. 5b) oraz obniżenie amplitudy fali P1 przy jej prawidłowym czasie utajenia w obszarze objętym zmianami (pierścienie 2. -4.). Wydłużenie czasu utajenia obserwuje się w stadiach bardziej zaawansowanych (9). Odpowiedzi uzyskane z siatkówki obwodowej są prawidłowe (pierścień 5.). Na trójwymiarowym wykresie (ryc. 5c) brak jest centralnego szczytu charakterystycznego dla osoby zdrowej (porównaj z ryc. 4d). Podobne wyniki uzyskuje się u osób ze starym zwyrodnieniem plamki. Obniżeniu amplitudy fali P1 towarzyszy dodatkowo wydłużenie jej czasu utajenia (9). MfERG wykrywa uszkodzenia plamki we wszystkich przypadkach makulopatii niezależnie od stadium choroby (9).

Zwyrodnienie barwnikowe

W tej grupie schorzeń dochodzi w początkowej fazie do upośledzenia funkcji receptorów pręcikowych. Zmiany te obrazuje skotopowe ERG błyskowe, w którym stwierdza się obniżenie amplitudy odpowiedzi bądź jej brak, a także wydłużenie czasu latencji. Wraz z postępem choroby występuje wtórna utrata funkcji czopków. Następstwem jest obniżenie amplitudy i wydłużenie czasu latencji w ERG fotonowym (2,415). MfERG u osób ze zwyrodnieniem barwnikowym pozwala potwierdzić diagnozę oraz monitorować przebieg choroby. Charakterystyczne jest zachowanie odpowiedzi z centralnej siatkówki (4). Typowy zapis mfERG uzyskany z oka prawego chorej ze zwyrodnieniem barwnikowym (wiek 35 lat) przedstawia ryc. 6. Wyraźnie widoczne są obszary obrazujące upośledzenie funkcji receptorów czopkowych (ryc. 6a). Amplituda fali P1 znajduje się poniżej normy we wszystkich ocenianych regionach (ryc. 6b), a patologiczny spadek jej wartości zwiększa się w miarę oddalania od plamki. Czasy utajenia fali P1 w obszarze centralnym (pierścienie 1. -2.) są prawidłowe, ale poza nim (pierścienie 3. -5.) – wydłużone. Trójwymiarowy wykres (ryc. 6c) pokazuje przejrzystość wyżej opisane zmiany. MfERG często ułatwia również diagnostykę różnicową pomiędzy zwyrodnieniem barwnikowym a dającymi podobny obraz kliniczny fenokopiami, często o podłożu zapalnym (15).

Zakrzep żyły środkowej siatkówki

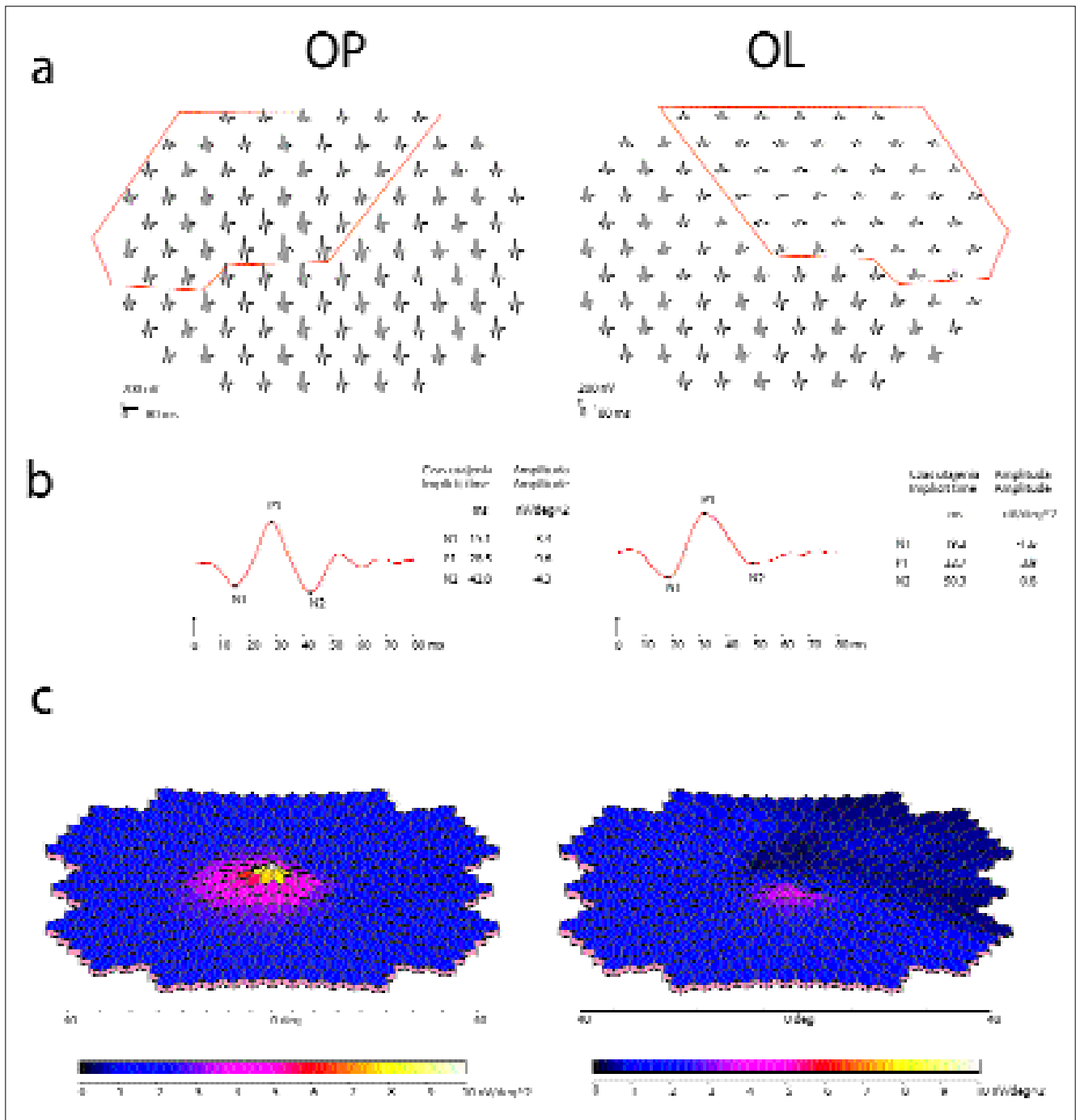
Rozpoznanie zakrzepu żyły środkowej siatkówki zwykle nie następuje większych trudności. Jednak rozróżnienie w fazie wczesnej postaci bez niedokrwienia od niedokrwiennej w przypadku zakrzepu pnia głównego czy też gałązki żyły środkowej jest często problematyczne. Czułym wskaźnikiem niedokrwienia w przypadku zakrzepu centralnego może być amplituda fali b w ERG błyskowym (3). Stwierdzenie w tym przypadku ERG negatywnego (zaburzenie proporcji amplitudy fal a i b) wskazuje na postać niedokrwinną (13). Jednakże w przypadku zakrzepów gałązek żyły centralnej, niejednokrotnie obejmujących niewielkie obszary siatkówki, zmiany niedokrwienne często nie znajdują odbicia w FERG (2). Wyniki obecnych badań klinicznych wskazują, że mfERG skutecznie lokalizuje obszar objęty zakrzepem (17) i może okazać się techniką ułatwiającą diagnostykę różnicową w ogniskowych postaciach choroby (niepublikowane



Ryc. 6. Wyniki mfERG uzyskane z oka prawego pacjentki (lat 35) ze zwyrodnieniem barwnikowym (opis w tekście).

Fig. 6. The mfERG results of a right eye of a female patient with a diagnosis of retinitis pigmentosa (see description in the text).

badania własne). Ryc. 7. przedstawia wyniki mfERG uzyskane od chorego w wieku 58 lat z zakrzepem żyły skroniowej dolnej oka lewego. Prezentacja topograficzna odpowiedzi mfERG (ryc. 7a) uwiadcza obszar objęty zmianami. Wyniki uzyskane z drugiego oka są w granicach normy (ryc. 7b). Uśrednienie i porównanie odpowiedzi z obszaru zakrzepu oraz z symetrycznego obszaru w drugim oku ujawnia obniżenie amplitudy fal N1, P1 oraz N2, a także wyraźne wydłużenie czasów utajenia w oku chorym (ryc. 7c, d).



Ryc. 7. Wyniki mfERG uzyskane od pacjenta w wieku 58 lat z zakrzepem żyły skroniowej dolnej w oku lewym.

Fig. 7. The mfERG results of a male patient with branch retinal vein occlusion of the temporal inferior vein in a left eye.

Podsumowanie

MfERG jest skuteczną nieinwazyjną metodą topograficznej oceny funkcji siatkówki. Jest bardzo prawdopodobne, że prowadzone obecnie badania, po opracowaniu odpowiednich standardów dotyczących metodyki i oceny wyników, spowodują w przyszłości poszerzenie wskazań do jej zastosowania. Należy zwrócić uwagę na fakt, że jest to nadal badanie nowe i nie do końca poznane. Szczególnie istotne jest wyjaśnienie pochodzenia poszczególnych składowych krzywej mfERG. Pozwoli ono na lepsze poznanie fizjologii siatkówki oraz procesów patologicznych leżących u podłoża jej schorzeń.

PIŚMIENNICTWO: 1. Curcio C. A., Sloan K. R., Kalina R. E., Hendrickson A. E.: *Human photoreceptor topography*. J. Comp. Neurol., 1990, 292, 497-523. 2. Fishman G. A., Birch D. G., Holder G. E., Brigell M. G.: *Electrophysiologic Testing*. The Foundation of the American Academy of Ophthalmology, Singapore, 2001. 3. Hayreh S. S., Klugman M. R., Beri M., Kimura A. E., Podhajsky P.: *Differentiation of ischemic from non-ischemic central retinal vein occlusion during the early acute phase*. Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol., 1990, 228, 201-217. 4. Holopigian K., Seiple W., Greenstein V. C., Hood D. C., Carr R. E.: *Local cone and rods system functions in patients with retinitis pig-*

mentosa. IOVS, 2001, 42, 779-788. 5. Hood D. C.: *Assessing retinal function with the multifocal technique*. Prog. Retin. Eye Res., 2000, 19, 607-646. 6. Hood D. C., Seiple W., Holopigian K., Greenstein V.: *A comparison of the components of the multifocal and full-field ERGs*. Visual Neuroscience, 1997, 14, 533-544. 7. Kondo M., Miyake Y., Horiguchi M., Suzuki S., Tanikawa A.: *Clinical evaluation of multifocal electroretinogram*. IOVS, 1995, 36, 2146-2150. 8. Kretschmann U., Bock M., Gockeln R., Zrenner E.: *Clinical applications of multifocal electroretinography*. Doc. Ophthalmol., 2000, 100, 99-113. 9. Kretschmann U., Seeliger M., Ruether K., Usui T., Zrenner E.: *Spatial cone activity distribution in diseases of the posterior pole determined by multifocal electroretinography*. Vision Res., 1998, 38, 3817-3828. 10. Kretschmann U., Seeliger M. W., Ruether T., Usui T., Apfelstedt-Sylla E., Zrenner E.: *Multifocal electroretinography in patients with Stargardt's macular dystrophy*. Br. J. Ophthalmol., 1998, 82, 267-275. 11. Marmor M. F., Hood D. C., Keating D., Kondo M., Seeliger M., Miyake Y.: *Guidelines for basic multifocal electroretinography (mfERG)*. Doc. Ophthalmol., 2003, 106, 105-115. 12. Marmor M. F., Zrenner E.: *Standard for clinical electroretinography (1999 update)*. International

Society for Clinical Electrophysiology of Vision. Doc. Ophthalmol., 1998, 97, 143-156. 13. Palacz O., Lubiński W., Penkala K.: *Elektrofizjologiczna diagnostyka kliniczna układu wzrokowego*. Oftal, Warszawa, 2003. 14. Parks S., Keating D., Williamson T. H., Evans A. L., Elliot A. T., Jay J. L.: *Functional imaging of the retina using the multifocal electroretinograph: a control study*. Br. J. Ophthalmol., 1996, 80, 831-834. 15. Seeliger M. W., Jurklics B., Kellner U., Palmowski A., Bach M., Kretschmann U.: *Multifokale Elektroretinographie (mfERG)*. Ophthalmologie, 2001, 98, 1112-1129. 16. Sutter E. E., Tran D.: *The field topography of ERG components in man-I. The photopic luminance response*. Vision Res., 1992, 32, 433-446. 17. Wildberger H., Jungardt A.: *Local visual field defects correlate with the multifocal electroretinogram (mfERG) in retinal vascular branch occlusion*. Klin. Monatsbl. Augenheilkd., 2002, 219, 254-258.

Badanie było finansowane w ramach grantu Unii Europejskiej (QLGA-GH-99-50423-08).

Praca wpłynęła do Redakcji 20.04.2003 r. (264).

Adres do korespondencji (Reprint requests to):
lek. med. Joanna Stępień
ul. Narutowicza 117
90-145 Łódź

1/2

KOLOR

Centrum Mikrochirurgii Oka

z Okulistyki 1/04 str. 49