



Badanie elektrofizjologiczne gałki ocznej – elektroretinografia

Anna Kowalik¹, Dorota Wojtusik², Agnieszka Siennicka¹, Piotr Fryczkowski¹

¹ Przychodnia i Szpital Okulistyczny Retina, ul. Gimnazjalna 1, 01-364 Warszawa, tel. +48 +48 22 664 44 33, e-mail: a.kowalik@retina.pl

² Specjalistyczne Centrum Okulistyczne OCU SERVICE, ul. Kościelna 26/1, 60-538 Poznań

Wprowadzenie

Całopolowy elektroretinogram (ERG) stanowi zapis zsumowanej odpowiedzi elektrycznej z zewnętrznej warstwy siatkówki otrzymanej przy stymulacji bodźcem świetlnym typu flash. Na rycinie 1 przedstawiono schemat pozyskiwania sygnału podczas badania ERG oraz przykładowe odpowiedzi w części skotopowej i fotopowej.

Elektroretinografia została odkryta w oczach zwierzęcych w połowie 1800 roku, natomiast u ludzi datuje się na 1920 rok. Kliniczne zastosowanie ERG rozpoczyna się w 1940 roku, natomiast w 1989 roku opracowano pierwsze kliniczne standardy przez ISCEV (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision). Standardy te są sprawdzane i dostosowywane do wymagań rozwoju diagnostyki. Elektroretinografia stanowi niezwykle ważne i cenne badanie diagnostyczne u wielu pacjentów okulistycznych.

Metodyka wykonania badania – standardy ISCEV

Wymagania technologiczne

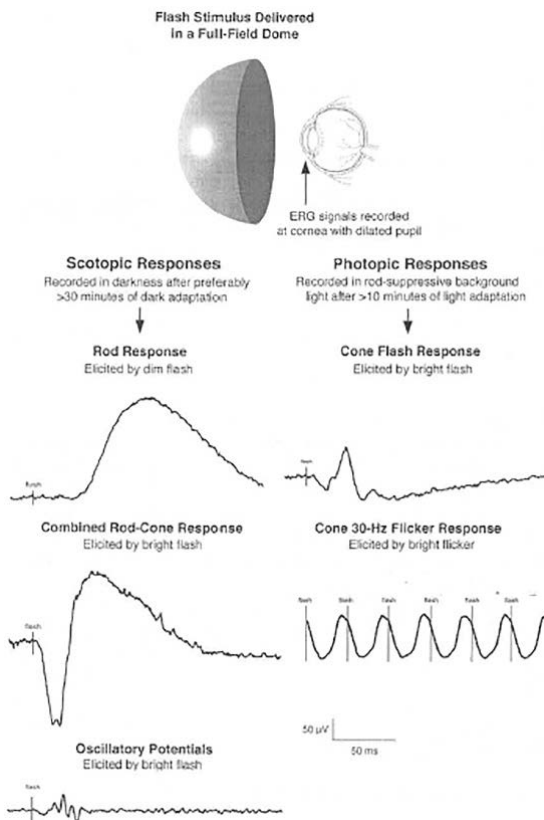
Rozpraszanie światła

Dla zapewnienia równomiernej stymulacji świetlnej całego pola widzenia pacjenta należy zastosować stymulację całopolową (ganzfeld). Zwykle stosuje się do tego kopułę lub tzw. czaszę. Należy zapewnić punkt fiksacji. Fiksacja powinna być kontrolowana poprzez zastosowanie podglądu, co jest możliwe poprzez użycie lampy na podczerwień.

Na producentach i użytkownikach spoczywa obowiązek sprawdzenia, czy stymulacja spełnia wymagania normy w pełnym zakresie [3].

Elektrody

Badanie ERG wykonuje się za pomocą tzw. elektrod rogówkowych. Dostępnych mamy kilka typów takich elektrod, każda z nich ma swoje zalety i wady, które przedstawione są w tabeli nr 1. Do najczęściej używanych należą elektrody nitkowe Dawson-Trick-Litzkow (DTL) [1]. Przed założeniem elektrod zalecane jest znieczulenie oka pacjenta poprzez podanie kropli, zakładane są one bezpośrednio na powierzchnię rogówki oka. Dodatkowo stosuje się elektrody skórne – kubkowe: bierne (odniesienia) umieszczane w kąciach oczu okolicy skroniowej oraz uziemiające, zakładane na czole lub uchu osoby badanej [5].

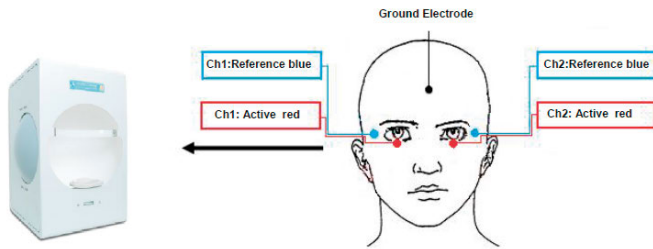


Rys. 1 Schemat pozyskiwania odpowiedzi w przypadku badania ERG oraz zapis poszczególnych kroków

Źródło: Byron L. Lam: *Electrophysiology of Vision Clinical Testing and Applications*, 2005.

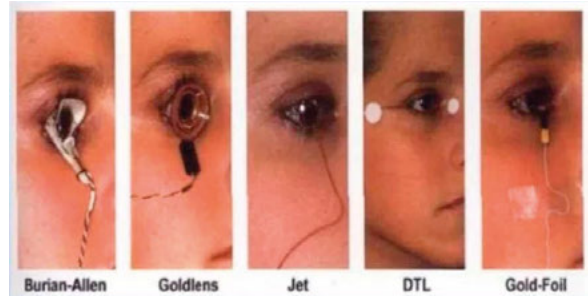


ISCEV ERG Ganzfeld



Rys. 2 Schemat rozmieszczenia elektrod (ERG)

Źródło: Materiały z kursu elektrofizjologii Roland Hands-On-Course 2017, 07.04.2017 Berlin.



Rys. 3 Różne rodzaje elektrod rogówkowych stosowanych do wykonania ERG

Źródło: <http://ww3.onvacations.co/erg-eye-test/>.

Tabela 1 Rodzaje elektrod – zestawienie

Elektroda	Typ	Zalety	Wady
Burian-Allen	Elektroda nagatkowa z pokrywką	Elektroda dwubiegunowa ze zintegrowanymi elektrodami czynną i referencyjną, wzziernik redukuje artefakty związane z mrużeniem	Słabo tolerowana przez niektórych pacjentów, obraz jest rozmazany
DTL (Dawson-Trick-Litzkow)	Nitkowa nagatkowa, umieszczona pod dolną powieką	Wysoko tolerowana przez pacjentów Niska zmienność amplitudy sygnału, zapewnia wyraźne widzenie	Może ulegać przesunięciom, brak wzziernika pozwala na swobodne mrużenie, które zaburza rejestrację zapisu
Gold-foil	Złota folia umieszczona pod powieką	Wysoko tolerowana przez pacjentów, zapewnia wyraźne widzenie	Duże ryzyko artefaktów, duża ruchomość
Jet	Soczewka kontaktowa z elektrodą	Jednorazowe, pakowane sterylnie	Duże ryzyko wysunięcia elektrody w trakcie badania, obraz rozmazany, brak wzziernika pozwala na swobodne mrużenie, które zaburza rejestrację zapisu
Goldlens	Elektroda nagatkowa z pokrywką	Wzziernik redukuje artefakty związane z mrużeniem, wbudowana elektroda referencyjna	Ograniczony dostęp, bardziej niekomfortowa dla pacjentów od Burian-Allen

Źródło: [1].

Preekspozycja na światło

Bezpośrednio przed badaniem ERG powinno unikać się wykonywania badań diagnostycznych wykorzystujących silne oświetlenie, takich jak: angiografia fluoresceinowa czy badanie dna oka (oftalmoskopia). Jeśli te badania zostały wykonane, zalecany jest co najmniej 30-minutowy odpoczynek w zwykłym oświetleniu przed rozpoczęciem badania ERG [3].

Przebieg badania

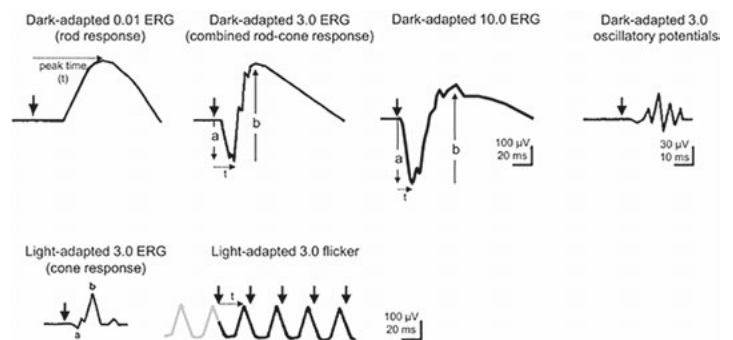
Do wykonania badania niezbędna jest czasza ganzfeld, która zapewni stymulację całej siatkówki.

Źrenica powinna być rozszerzona przez podanie kropli, ponieważ wąska źrenica zredukowałaby zasięg docierania bodźca do siatkówki, a co za tym idzie – prawidłowe zarejestrowanie odpowiedzi ERG. Do badania wykorzystuje się elektrody rogówkowe (nitkowe – DTL), umieszczane na powierzchni rogówki po znieczuleniu oka. Dodatkowo stosuje się elektrody skórne kubkowe: bierne (odniesienia) umieszczone w kąciach oczu okolicy skroniowej oraz uziemiające, zakładane na czole lub uchu osoby badanej [5]. Badanie poprzedzone jest preadaptacją – 20 minut adaptacji nocnej przed badaniem systemu pręcikowego oraz 10 minut adaptacji dziennej przed zapisem odpowiedzi czopkowych.

Standardy ISCEV – krzywe odpowiedzi

Według obecnie obowiązujących zaleceń ISCEV badanie całopolewego ERG powinno być przeprowadzone w sześciu krokach. Pierwszy krok prezentuje odpowiedź pręcikową, która wywołana jest przez przyciemnione białe błyski o niskiej intensywności – 25 dB, w porównaniu z błyskiem standardowym [1, 2]. Następnym krokiem jest tzw. odpowiedź łączona: czopkowo-pręcikowa wywoływana standardowym białym błyskiem. Taki sam rodzaj bodźca wykorzystywany jest w trakcie wywoływania potencjałów oscylacyjnych (krok trzeci i czwarty).

Dla uzyskania czystych odpowiedzi czopkowych należy użyć bodźca świetlnego wysokiej intensywności – 0 d oraz wysokiej częstotliwości 30 Hz [2]. Od 2008 roku rekomendowane jest wykonywanie dwóch testów w adaptacji dziennej.



Rys. 4 Wykresy sześciu podstawowych zapisów ERG wg standardu ISCEV

Źródło: [3].



Zapisy ERG według standardów:

- 1) 0.01 ERG w adaptacji nocnej (odpowiedź pręcikowa);
- 2) 3.0 ERG w adaptacji nocnej (tzw. odpowiedź łączona: czopkowo-pręcikowa);
- 3) 3.0 ERG w adaptacji nocnej (potencjały oscylacyjne, odzwierciedlające funkcję fotoreceptorów);
- 4) potencjały oscylacyjne w adaptacji nocnej (pochodzące głównie z komórek amakrynowych);
- 5) 10.0 ERG w adaptacji dziennej (odpowiedź czopkowa, zdominowana przez te receptory),
- 6) 30 Hz migoczący ERG w adaptacji dziennej (odpowiedź systemu czopkowego na migoczący bodziec świetlny „flicker”) [5].

Zapis ERG

Wynikiem zapisu jest tzw. krzywa ERG, która powstaje na podstawie pomiaru potencjału czynnościowego, zmierzonego za pomocą elektrod rogówkowych. Składowe zapisu stanowią wychylenia dodatnie oraz ujemne, które graficznie odzwierciedlają czynność bioelektryczną różnych części siatkówki. Fala a jest wynikiem hiperpolaryzacji zewnętrznych członów fotoreceptorów siatkówki, tj. czopków i pręcików, na wykresie widoczna jako pierwsze ujemne wychylenie. Fala a pojawia się natychmiast po zadziałaniu bodźca świetlnego, kończy się pojawieniem fali b. Fala b ma swoje źródło w warstwie jądrazastej wewnętrznej siatkówki (komórki dwubiegunowe i komórki Müllera) stanowi dodatnie wychylenie. Fala c związana jest z hiperpolaryzacją komórek nabłonka barwnikowego (RPE) i komórek Müllera. Jest późną pozytywną odpowiedzią, jej szczyt pojawia się od 2-10 s po zadziałaniu bodźca [5].

W tabeli 2 przedstawiono anatomiczne pochodzenie różnych potencjałów ERG oraz metody ich rejestracji.

Tabela 2 Anatomiczne pochodzenie różnych potencjałów ERG oraz metody ich rejestracji

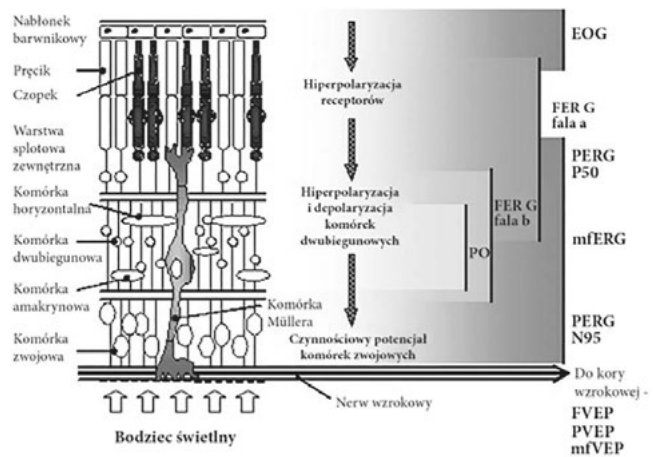
Anatomia	Potencjał	Rodzaj testu
Czopkowy segment zewnętrzny	Fala a czopkowa	ERG fotopowe
Pręcikowy segment zewnętrzny	Fala a pręcikowa	ERG skotopowe
Komórki dwubiegunowe (bipolarne)	Fala b czopkowa	ERG fotopowe
Komórki gładkie Müllera	Czopkowa i pręcikowa fala b	ERG fotopowe i skotopowe
Warstwa spłotowa wewnętrzna i komórki amakrynowe	Potencjały oscylacyjne	Skotopowe ERG ze specjalnym filtrem

Źródło: Kurs elektrofizjologia narządu wzroku, Poznań 6-7.11.2009.

Tabela 3 Rodzaje zapisów ERG

Rodzaj zapisu ERG	Opis
Prawidłowy	Amplituda fali a niższa niż fali b
Subnormalny	Redukcja amplitudy fali a i b
Nadnormalny	Amplitudy fali a i b powyżej normy
Wygaszony	ERG nieobecny
Negatywny	Fala a prawidłowa, redukcja fali b

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5 Schematyczna budowa siatkówki oka z pokazaniem komórkowego źródła składowych morfologicznych sygnału

Źródło: http://www.okulistyka.com.pl/_okulistyka/edu/34.pdf.

Amplituda i latencja

Dla zapisów uzyskanych w objętych protokołem klinicznym poszczególnych testach dokonuje się pomiarów amplitud fal a i b oraz ich czasów kulminacji (*implicit time*). Czas kulminacji mierzony jest od początku zadziałania bodźca do wystąpienia szczytu (piku).

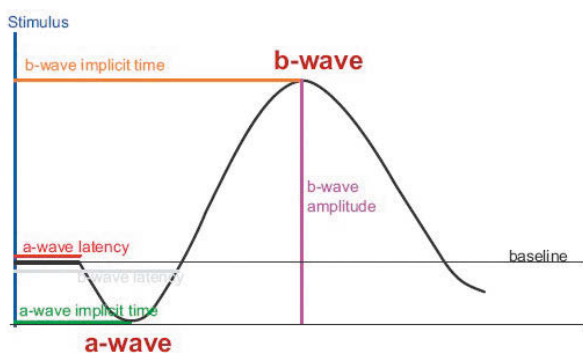
reklama

KONTROLA DAWEK

LABORATORIUM DOZYMETRII INDYWIDUALNEJ I ŚRODOWISKOWEJ

ul. Radzikowskiego 152 tel.: 12 662 84 57
31-342 Kraków fax: 12 662 81 58
e-mail: ladis@ifj.edu.pl





Rys. 6 Krzywa odpowiedzi ERG. Fala a jest wynikiem hiperpolaryzacji zewnętrznych członów fotoreceptorów siatkówki, tj. czopków i pręcików. Fala b ma swoje źródło w warstwie jądrowej wewnętrznej siatkówki (komórki dwubiegunowe i komórki Müllera).
Źródło: <https://www.dovepress.com/electroretinographic-modifications-induced-by-agonelatine-a-novel-aven-peer-reviewed-fulltext-article-NDT>.

Trudności w wykonaniu badania mogące wpłynąć na wynik

Niezależnie od stosowanych w danej pracowni elektrod bardzo istotnym czynnikiem mogącym wpłynąć na rejestrację badania jest słaby kontakt elektrody. Istotne jest również, aby przez cały czas trwania badania kontrolować poprawne przyleganie elektrod DTL i skórnych, które ze względu na swoje położenie (kąćki oczu) mogą ulec odklejeniu. Warto więc dodatkowo zabezpieczyć plasterem, co uniemożliwi ich przesunięcie w przypadku nadmiernego łzawienia lub pocierania oczu [6].

Impedancja

Parametrem pozwalającym kontrolowanie prawidłowego ułożenia oraz kontaktu elektrod jest impedancja. Impedancja jest stosunkiem mierzonego napięcia pomiędzy elektrodą a elektrodą uziemiającą z uwzględnieniem prądu wejściowego.

Mierzona jest ona w Omach [Ω] i nie powinna przekraczać wartości 5 Ω dla każdej z elektrod.

Wskazania

Badanie elektrofizjologiczne ERG ma na celu określenie odpowiedzi fotoreceptorów siatkówki, a mówiąc bardziej szczegółowo, ocenić funkcje czopków i pręcików.

Wśród wskazań do badania ERG możemy wyróżnić:

- wrodzone dysfunkcje siatkówki,
- wrodzone dystrofie plamkowe, np. dystrofia plamkowa Stargardta,
- dystrofie czopkowe lub pręcikowo-czopkowe,
- wrodzona stacjonarna ślepota nocna (CSNB – Congenital Stationary Night Blindness),

- dystrofie siatkówkowo-naczyniówkowe,
- dystrofie nabłonka receptorowego – zwyrodnienia tapeto-retinalne, jak np. RP (Retinitis Pigmentosa),
- wrodzone zmiany szklistkowo-siatkówkowe,
- zmiany elektrofizjologiczne w przebiegu procesów zapalnych,
- retinopatie spowodowane reakcjami immunologicznymi,
- zaburzenia krążenia,
- zatrucia, np.: alkohol metylowy – metanol,
- niedobór witaminy A,
- jaskra,
- inne.

Zakończenie

Badanie ERG jest badaniem o dużym znaczeniu w procesie diagnostycznym w okulistyce, zwłaszcza dla chorób związanych z siatkówką. Na prawidłowy przebieg badania ma wpływ wiele czynników związanych z aparaturą i otoczeniem zewnętrznym, jak i z samym pacjentem: oczopląs, nadmierne ruchy gałek ocznych, napięcia mięśniowe. Niezwykle ważna jest znajomość wszelkich aspektów mogących wpływać na prawidłowy do interpretacji przez lekarza zapis. Należy pamiętać, iż nie zawsze to, że otrzymamy prawidłowy wynik zapisu krzywej ERG, jest adekwatne do obrazu klinicznego. Osoba wykonująca i przygotowująca badanie ERG powinna znać zasady analizy i interpretacji zapisanego sygnału oraz przygotowania do analizy klinicznej przez lekarza.

Literatura

1. B.L. Lam: *Electrophysiology of Vision, Clinical Testing and Applications*, informa healthcare, New York, 2005.
2. O. Palacz, W. Lubiński, K. Penkala: *Elektrofizjologiczna diagnostyka kliniczna układu wzrokowego*, Oftal, Warszawa 2003.
3. D.L. McCulloch, M.F. Marmor, M.G. Brigell, R. Hamilton, G.E. Holder, R. Tzekov, M. Bach: *ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update)*, Documenta Ophthalmologica, 130(1), 2015, 1-12.
4. D. Wojtusik: *Rola elektroradiologa w diagnostyce chorób oczu*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 4, 2015, 159-162.
5. A. Kowalik, D. Wojtusik, P. Fryczkowski, A. Siennicka: *Badania elektrofizjologiczne narządu wzroku oczami elektroradiologa*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 7, 2018, 281-288.
6. A. Kowalik, D. Wojtusik, P. Fryczkowski, A. Siennicka: *Badanie elektrofizjologiczne gałki ocznej – Elektrookulografia*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 7, 2018, 356-360.