



Badanie elektrofizjologiczne gałki ocznej – Wzrokowe Potencjały Wywołane (WPW)

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

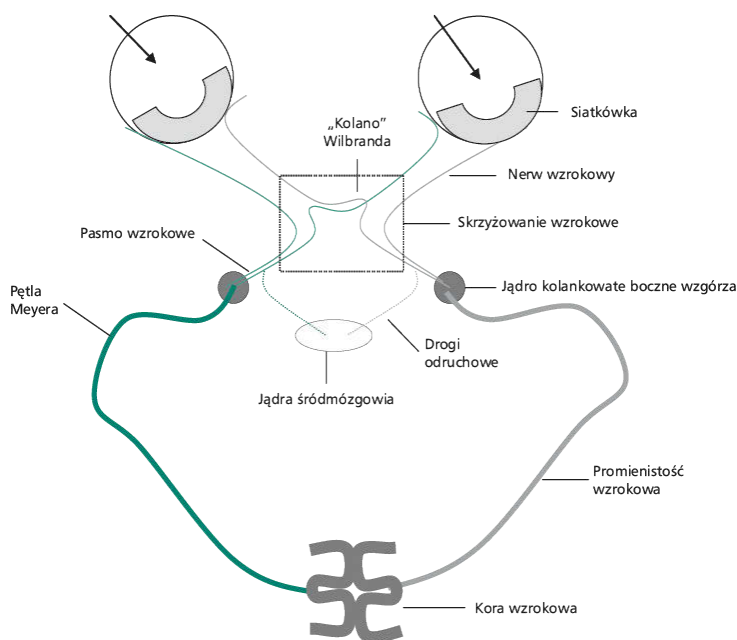
Wprowadzenie

Wzrokowe Potencjały Wywołane (WPW) stanowią odpowiedź całej drogi wzrokowej na zadziałanie bodźca na siatkówkę. Droga wzrokowa stanowi swojego rodzaju autostradę, po której wywołany przez bodziec sygnał biegnie aż do płata potylicznego w mózgu, gdzie w polu 17 zlokalizowane są ośrodki odpowiedzialne za proces widzenia (Rys. 1a, 1b). Sygnał świetlny zamieniany jest w siatkówce na sygnał elektryczny, który daje informacje, w jakim stopniu „działa” przewodnictwo w obrębie drogi wzrokowej. Wzrokowe Potencjały Wywołane stanowią ważny element diagnostyki okulistycznej, gdyż pozwalają na diagnozowanie i monitorowanie wielu procesów związanych nie tylko z okulistyką, ale i neurologicznymi schorzeniami, takimi jak np. stwardnienie rozsiane (SM) [1, 5].

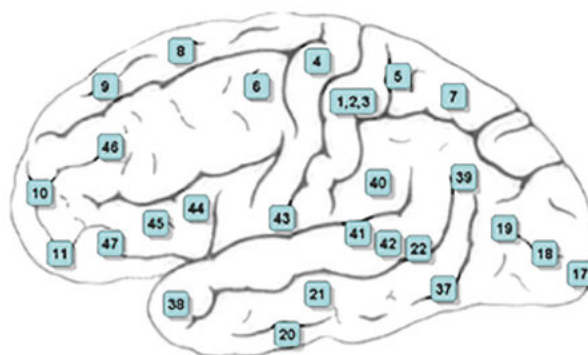
Metodyka badania wzrokowych potencjałów wywołanych (VEP, VER) – standard VEP

Wzrokowe potencjały wywołane (VEP – *Visual Evoked Potentials*, VER – *Visual Evoked Response*) powstają w ośrodkach wzrokowych kory mózgowej (pole 17) i stanowią odpowiedź elektryczną na bodziec świetlny. Zmierzone parametry (amplitudy, latencje fal, relacje między nimi) dostarczają informacji o całej drodze wzrokowej, poczynając od siatkówki, aż do struktur korowych. W literaturze określa się, że odpowiedzi te reprezentują zsynchronizowaną działaniem bodźca aktywność milionów neuronów korowych.

Sygnały VEP odzwierciedlają pośrednio stan centralnej części siatkówki jako pierwszego poziomu w układzie wzrokowym, odpowiedzialnego za odbiór i wstępne przetwarzanie bodźców świetlnych (Rys. 1) [1, 2].



Rys. 1a Obraz drogi wzrokowej badanej przy zastosowaniu WPW

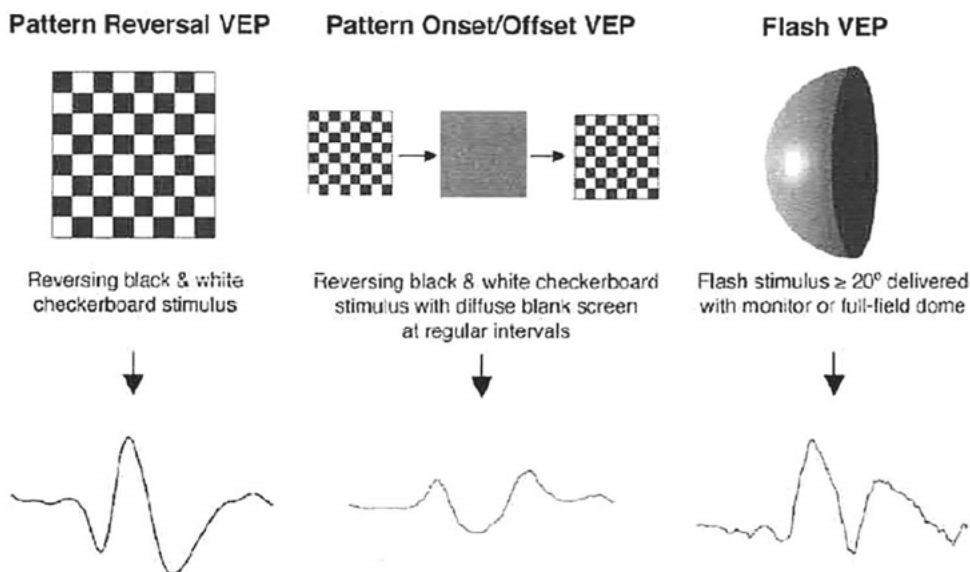


Rys. 1b Budowa kory mózgowej z uwzględnieniem ośrodków czuciowych, w tym pole 17 zwane Polem Brodmanna – korowy ośrodek wzroku
Źródło: [11].

Clinical VEP



Cerebral cortical visual evoked potential recorded at the scalp near the occipital striate cortex

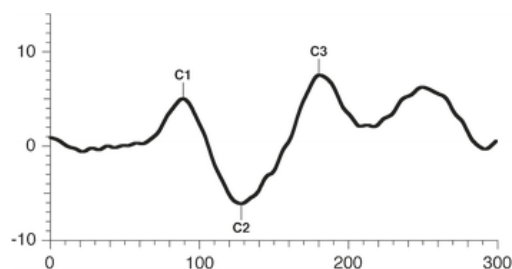


Rys. 2 Rodzaje badań Wzrokowych Potencjałów Wywołanych ze względu na zastosowanie bodźca
Źródło: [1].

Sygnaty VEP stanowią pośrednio ocenę stanu centralnej części siatkówki jako pierwszego poziomu swoistego rodzaju monitora w układzie wzrokowym, odpowiedzialnego za odbiór i wstępne przetwarzanie bodźców świetlnych.

W praktyce klinicznej, zależnie od rodzaju stymulacji świetlnej, wyróżnia się dwa typy odpowiedzi VEP: wzrokowe potencjały wywołane przy stymulacji błyskowej (FVEP – *Flash VEP*) i przy stymulacji wzorcem (PVEP – *Pattern VEP*). W przypadku PVEP, podobnie jak ma to miejsce z odpowiedziami PERG, uzyskuje się, w zależności od częstotliwości stymulacji, zapisy typu *transient* lub *steady-state*. Na rysunku 2 pokazano zestawienia rodzajów badań wzrokowych potencjałów wywołanych. Wzrokowe odpowiedzi wywołane, generowane bodźcem świetlnym o właściwej intensywności, nazywamy odpowiedziami błyskowymi, odpowiedzi wywołane wzorcem szachownicy zaś – *Pattern VEP*. Uzyskane zapisy wymagają od użytkownika tak zwanej obróbki sygnału, czyli mówiąc potocznie, muszą być oczyszczone z „szumów” i uśrednione w systemie komputerowym. Zwykle uśrednia się więcej niż 80 odpowiedzi. Dlatego też niezwykle ważna jest znajomość zasad analizy i obróbki sygnału.

VEP typu *pattern* wykorzystuje do stymulacji bodziec w postaci szachownicy. Wzorec szachownicy może być stosowany w trybie *reversal*, tj. następuje zmiana faz szachownicy z czarnej na białą i odwrotnie (odwracanie wzoru). Można także stosować stymulację w trybie *on-off*, tj. naprzemiennie włączać i wyłączać wzorec [2, 3, 6].



Rys. 3 Przykładowy zapis Wzrokowych Potencjałów Wywołanych z zastosowaniem stymulacji typu *pattern* w trybie *onset/offset*
Źródło: [8].

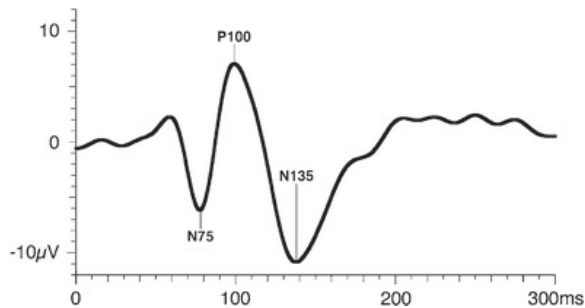
Zastosowanie różnej częstotliwości pobudzania, tj. częstości bodźca na sekundę, jest podstawą do podziału VEP na:

- a) VEP typu *transient* – przejściowy,
- b) VEP typu *steady state* – stanu ustalonego.

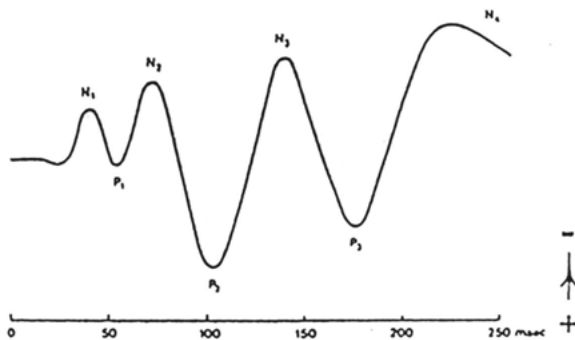


Chociaż stymulacja błyskowa jest prostsza i często stosuje się ją zwłaszcza u pacjentów z niską ostrością widzenia, w ostatnich latach znaczenie odpowiedzi wywołanych wzorcem PVEP jest zdecydowanie większe. Jest to spowodowane dwoma głównymi przyczynami:

1. W przypadku PVEP obserwuje się mniejsze różnice międzyosobnicze niż w przypadku FVEP, w związku z czym ich interpretacja i ocena jest bardziej wiarygodna i precyzyjna.
2. Rejestracja PVEP dostarcza bardziej dokładnych informacji co do miejsca uszkodzenia drogi wzrokowej niż FVEP, a ponadto umożliwia obiektywną ocenę zdolności widzenia szczegółów (elektrofizjologiczny ekwiwalent ostrości wzroku na poziomie korowym).



Rys. 4 Przykładowy zapis Wzrokowych Potencjałów Wywołanych z zastosowaniem stymulacji typu pattern w trybie reversal
Źródło: [12].



Rys. 5 Przykładowy zapis Wzrokowych Potencjałów Wywołanych z zastosowaniem stymulacji typu flash
Źródło: [13].

Metodyka wykonania badania standardy ISCEV

Wymagania technologiczne

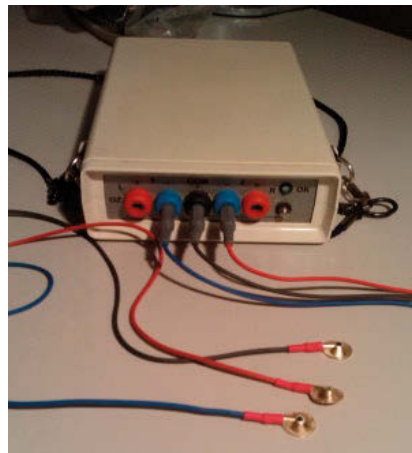
Zapis przebiegu VEP jest zależny od poniższych czynników:

- a) rodzaju bodźca;
- b) VEP reprezentuje w głównej mierze zmiany aktywności potencjału pochodzącego z pobudzenia plamkowego siatkówki – a ściślej z jej centralnej części 5-10°;

- c) charakterystyczne zmiany przebiegu VEP występują po pobudzeniu siatkówki wzorcem biało-czarnej szachownicy lub biało-czarnych pasów, a także po pobudzeniu błyskiem światła o odpowiedniej intensywności;
- d) charakterystyczne zmiany występują w zakresie wartości amplitud fal VEP, jak również czasu latencji, tj. czasu upływającego od momentu zadziałania bodźca na siatkówkę do kulminacji określonego załamka (np. P100);
- e) umiejscowienia elektrod w określonych punktach czaszki.

Elektrody

Do wykonania badania wykorzystywane są elektrody typu naskórnego, często nazywane elektrodami „kubekowymi”. Na rysunku 6 przedstawiono układ odprowadzenia trzech wykorzystywanych do badania elektrod, natomiast na rysunku 7 przedstawiono przykładowe elektrody wykorzystywane do pomiaru. Elektrody są umieszczane na skórze głowy po uprzednim oczyszczeniu w celu zapewnienia dobrej impedancji, której wartość powinna wynosić 5 kΩ.



Rys. 6 Układ odprowadzeń – amplifier dla elektrod pomiarowych
Źródło Pracownia elektrofizjologii narządu wzroku eRETINA, Złotowska 17, Poznań



Rys. 7 Przykładowe elektrody naskórne firmy GRASS
Źródło: [14].

VEP przy stymulacji wzorcem szachownicy (VEP Pattern)

Badanie wykonujemy zawsze dla każdego oka oddzielnie. W przypadku, kiedy pacjent ma korekcję okularową wady wzroku, badanie wykonujemy w okularach lub soczewkach. Niebadane oko przykrywamy czarną przepaską lub w przypadku pacjentów z okularami, za okulary wkładamy przesłonkę. Do badania wykorzystujemy trzy elektrody, przyklejane w odpowiednich miejscach na głowie. Pacjent siedzi naprzeciwko monitora komputerowego w odległości 80 cm. Na monitorze wyświetlana jest czarno-biała szachownica. Podczas badania szachownica porusza się, na jej środku znajduje się czerwony krzyżyk, na którym pacjent powinien skupić wzrok. Jeśli pacjent nosi okulary, nie zdejmujemy ich do badania. Do badania nie zakraplamy oczu. W zależności od stopnia współpracy badanie trwa ok. 10-15 minut [3, 6].

- Wykonywane są dwa zapisy dla tego samego oka, następnie uśrednienia się je w trybie „*off-line*” i poddaje dalszej analizie.
- Najważniejsze znaczenie kliniczne ma załamek **P100** występujący u 100% zdrowych badanych.
- Latencja jego wynosi od **100 do 115 msek**, w warunkach patologicznych może być wydłużona do 150 msek (zapalenie n. II, stwardnienie rozsiane).
- Amplituda załamka P100 wynosi około 10 μV .

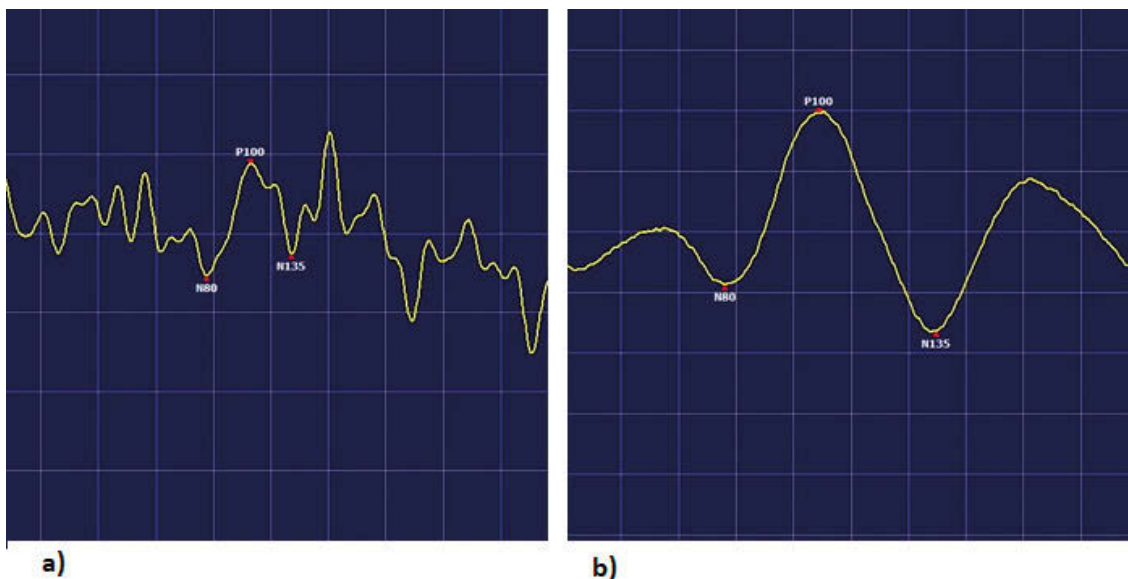
Ze względu na częstotliwość pobudzenia dzielimy VEP na:

VEP typu *transient*

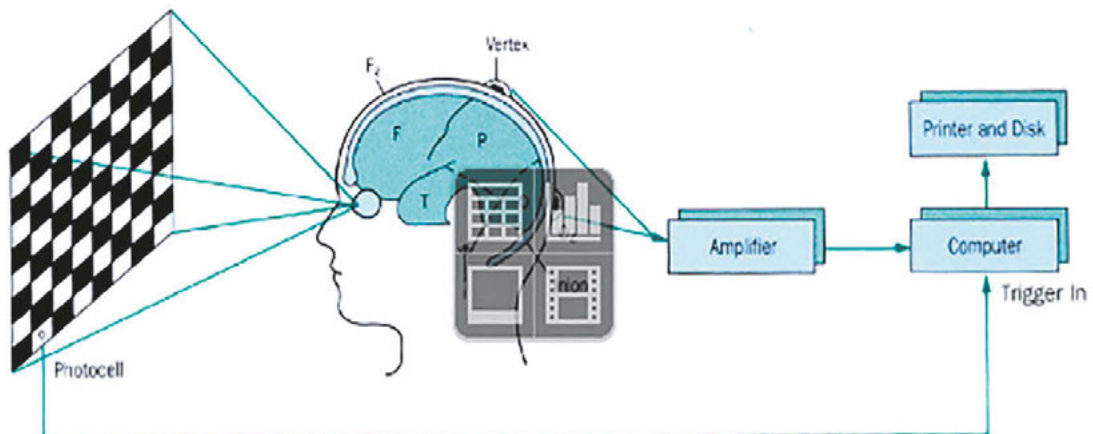
- Wzorzec: biało-czarna szachownica
- Częstotliwość 1-2 Hz
- Krzywa typu PVEP *transient* złożona z fal:
 - pierwszej negatywnej N1 lub N75
 - pierwszej pozytywnej P1 lub P100
 - drugiej negatywnej N2 lub N140

VEP typu *steady state*

- Wzorzec: biało-czarna szachownica lub błysk
- Częstotliwość 3 do 25 Hz
- Odpowiedź ma kształt sinusoidy
- Krzywe sumowane przez system komputerowy wartości amplitudy



Rys. 8 a) Zapis badania PVEP przed obróbką; b) zapis badania PVEP po obróbce. Badanie wykonane na aparacie firmy Tomey
Źródło: Materiał własny – Pracownia eRETINA.



Rys. 9 Schemat badania VEP Pattern
Źródło: [13].



Wynikiem badania jest zmierzenie parametrów: amplitudy, latencji fal oraz relacji między nimi, co dostarcza informacji o całej drodze wzrokowej, poczynając od siatkówki, aż do struktur korowych (Rys. 10). Amplituda danego załamka (fali) mierzona jest jako odległość od szczytu tego załamka do doliny załamka poprzedzającego. Najczęściej wyróżnianymi załawkami zapisu WPW są: N75, P100, N135 (Rys. 2), gdzie P i N oznaczają odpowiednio dodatnie (pozytywny) i ujemne (negatywny). Czas latencji mierzony jest jako czas od wystąpienia pobudzenia do wystąpienia szczytu danego załamka.

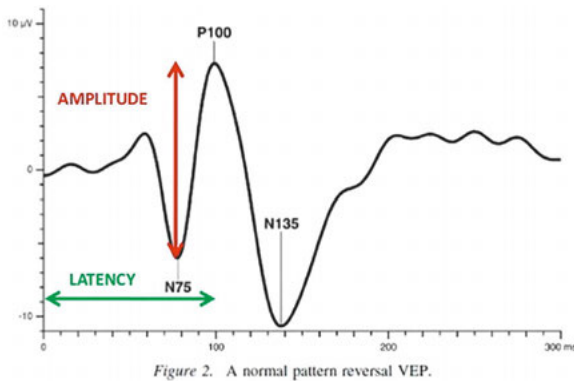


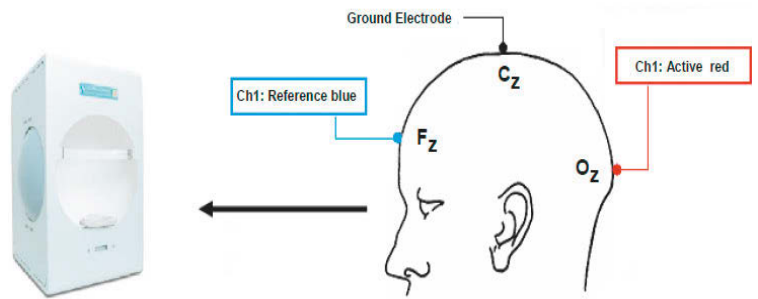
Figure 2. A normal pattern reversal VEP.

Rys. 10 Wykresy prawidłowego zapisu VEP Pattern wg standardu ISCEV [8]
Źródło: [13].

VEP wywołane błyskiem („flash“)

To szczególna odmiana badania VEP. Podczas badania pacjent opiera głowę o podbródek czaszy, w przypadku małych dzieci można badanie wykonać w niewielkiej odległości od czaszy. Podczas badania w czaszy pojawia się migoczące światło – podobne do lampy błyskowej lub błysku flesza aparatu fotograficznego. Pacjent podczas badania patrzy na wprost przed siebie i mruga normalnie, jak zachodzi potrzeba. W zależności od stopnia współpracy badanie trwa ok. 10-15 min.

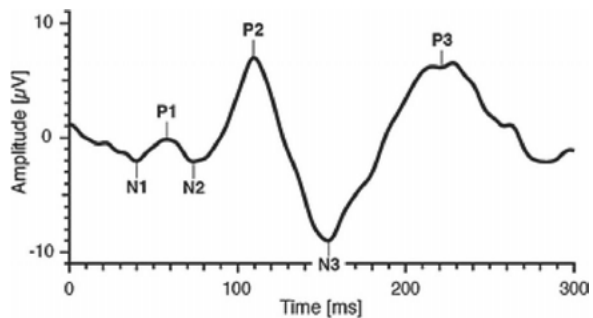
FVEP odzwierciedla czynność bioelektryczną funkcję centralnych włókien nerwowych, a więc obrazuje funkcję całego n. II i w dużej mierze zależy od stanu regionu plamki. Ze względu na rodzaj stosowanej stymulacji (błysk) odpowiedź FVEP odzwierciedla czynność bioelektryczną całej populacji komórek zwojowych siatkówki i ich aksonów, a więc obrazuje funkcję całego n. II, w szczególności jego włókien obwodowych. Sygnał PVEP jest uzyskiwany po stymulacji wzorcem centralnej części siatkówki, dlatego odzwierciedla przede wszystkim funkcję centralnych włókien nerwowych i w dużej mierze zależy od stanu regionu plamki. Standardowe wzrokowe potencjały wywołane stymulowane błyskiem są wywoływane przez krótki błysk (≤ 5 ms) obejmujący minimum 20° pola widzenia i prezentowany w słabo oświetlonym pomieszczeniu. Dopuszczalny zakres dla standardowej siły błysku wynosi 2,7 do $3,4 \text{ cd} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2$, która odpowiada standardowej stymulacji ERG. Stymulacje powinny być wywoływane z częstością 1 na sekundę (1,0 Hz, wahają się od 0,9 do 1,1 Hz) [2, 3].



Rys. 11 Schemat przygotowania pacjenta i wykonania badania VEP Flash
Źródło: [13].

Rozkład elektrod, tak jak w przypadku VEP Pattern, przedstawiono na rysunku 11.

Typowa odpowiedź FVEP składa się z szeregu fal negatywnych i pozytywnych. Piki są oznaczone jako ujemne i dodatnie w kolejności numerycznej. Najbardziej spójne i stałe komponenty FVEP u dorosłych to N2 i P2 [3, 6].



Rys. 12 Wykresy prawidłowego zapisu VEP Flash wg standardu ISCEV [8]
Źródło: [3].

Trudności w wykonaniu badania mogące wpłynąć na wynik

- Nieprawidłowe przymocowanie elektrod do skóry (zbyt mało pasty przewodzącej, brak zabezpieczenia plastrami elektrody).
- Niewystarczające przygotowanie skóry (zbyt tłusta, zanieczyszczona np. kosmetykami do makijażu).
- Nieprawidłowe podłączenie elektrod do transformatora.
- Zniszczona lub niepoprawnie działająca elektroda.
- Brak współpracy pacjenta – problem z fiksacją.

Zastosowanie kliniczne

Wskazaniem do wykonania badania wzrokowych potencjałów wywołanych jest podejrzenie choroby nerwu wzrokowego lub innych elementów drogi wzrokowej.

W diagnostyce neuropatii wzrokowych oprócz standardowych badań okulistycznych coraz powszechniej stosuje się czynnościowe badania elektrofizjologiczne. Pozwalają one szybciej i pewniej postawić diagnozę w przypadkach o niejasnej etiologii,

u pacjentów z pełną ostrością wzroku i brakiem widocznych zmian na dnie oka. Badanie PVEP ma szczególne znaczenie w procesie diagnostycznym stwardnienia rozsianego SM (*sclerosis multilax*), gdzie nerw wzrokowy jest jedną ze struktur najczęściej objętych procesem chorobowym. Przedłużony czas latencji jest typowym objawem tego schorzenia [2, 6, 7].

Badanie to znajduje również zastosowanie w rozpoznaniu psychogennych zaburzeń narządu wzroku, takich jak symulowanie oraz w ocenie rozwoju układu wzrokowego u dzieci. Zaburzenia psychogenne występują, gdy nie ma żadnych zmian organicznych w narządzie wzroku, a pacjent subiektywnie odczuwa znaczne pogorszenie widzenia. W takich przypadkach badanie wzrokowych potencjałów wywołanych jest prawidłowe. Podłożem tych zaburzeń jest psychika chorego, a nie uszkodzenie nerwu wzrokowego. Często zaburzenia wzroku symulują dzieci, by zwrócić na siebie uwagę rodziców.

Główne wskazania do badania WPW:

- zapalenie n. II (Optic Neuritis – ON)
- neuropatii niedokrwienne
- neuropatii pourazowe
- neuropatii toksyczne, polekowe
- zanik nerwu wzrokowego
- symulacja
- neuropatia tarczycowa
- neuropatia uciskowa.

Podsumowanie

Wzrokowe Potencjały Wywołane są badaniem pierwszego wyboru w przypadku konieczności poszerzenia diagnostyki o ocenę funkcji drogi wzrokowej. Mają większą wartość diagnostyczną w porównaniu z FVEP (Flesh-VEP), ze względu na większą wiarygodność badania, na którą składa się mniejsze zróżnicowanie odpowiedzi co do kształtu i latencji fal. Chociaż FVEP są bardziej osobniczo zmienne niż PVEP, mogą być przydatne u pacjentów, którzy nie mogą bądź nie chcą współpracować podczas badania PVEP, lub wtedy, kiedy czynniki, jak zmętnienie ośrodków optycznych, uniemożliwiają prawidłowe zastosowanie bodźców typu „*pattern*” [6].

Literatura

1. L.B. Lam: *Electrophysiology of Vision, Clinical Testing and Applications*, Informa Healthcare, New York, London 2005.
2. O. Palacz, W. Lubiński, K. Penkala: *Elektrofizjologiczna diagnostyka kliniczna układu wzrokowego*, Oftal, Warszawa 2003
3. J.V. Odom, M. Bach, M. Brigell, G.E. Holder, D.L. McCulloch, A. Mizota, A.P. Tormene: *ISCEV standard for clinical visual evoked potentials – (2016 update)*, Doc. Ophthalmol., 133(1), 2016, 1-9.
4. D. Wojtusik: *Rola elektroradiologa w diagnostyce chorób oczu*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 4(3), 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, A. Siennicka, P. Fryczkowski: *Badanie elektrofizjologiczne gałki ocznej – Elektrookulografia*, Inżynier i Fizyk Medyczny, 7, 2018, 356-360
7. A. Grzybowski: *Badania elektrodiagnostyczne*, Przegląd Okulistyczny, 5(19), 2007, 1-2.
8. J.V. Odom, M. Bach, M. Brigell, G.E. Holder, D.L. McCulloch, A.P. Tormene: *ISCEV standard for clinical visual evoked potentials (2009 update)*, Doc. Ophthalmol., 120(1), 2010, 111-119.
9. F.S. Shawkat, A. Kriss, C. Timms, D.S. Taylor: *Comparison of pattern-onset, -reversal and -offset VEPs in treated amblyopia*, Eye (Lond), 12(5), 1998, 863-869.
10. C. Fischer, N. André-Obadia, F. Mauguière: *Diagnostic criteria of multiple sclerosis: electrophysiological criteria*, Rev Neurol (Paris), 157(8-9), 2001, 974-980.
11. A. Piekarek, M. Szaśniadek: *Uszkodzenia drogi wzrokowej w rezonansie magnetycznym*, Pol. Przegl. Neurol, 11(2), 2015, 58-67.
12. J.V. Hoeve, R.J. Munger, C.J. Murphy, T.M. Nork: *Emerging Electrophysiological Technologies for Assessing Ocular Toxicity in Laboratory Animals Assessing Ocular Toxicology in Laboratory Animals*, 123-157.
13. Materiały z kursu elektrofizjologii Roland Hands-On-Course 2017, 07.04.2017 Berlin.
14. <https://www.ternimed.de/Grass-Cup-Electrodes-Gold>.

reklama

SZKOLENIA SPECJALISTYCZNE IOR, ORP, OA



SZKOLENIA
<http://szkolenia.ifj.edu.pl>

**Inspektor Ochrony Radiologicznej
w pracowniach stosujących aparaty rentgenowskie
w celach medycznych, szkolenia typu: R, S**

**Ochrona Radiologiczna Pacjenta
LR, LMN, LRZ, LIX, LST, FT, PMN, LRT**

**Operator Akceleratora
typu A-A i S-A**

Copyright © LADIS

**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. H. Niewodniczańskiego PAN**

ul. Radzikowskiego 152 tel.: 12 662 84 57
31-342 Kraków 12 662 83 32
e-mail: szkolenia@ifj.edu.pl fax: 12 662 81 58

