

**Lucyna Pośpiech, Krystyna Orendorz-Fraćzkowska,
Kazimierz Frączkowski**

Klinika Otolaryngologii Akademii Medycznej we Wrocławiu

Elektronystagmografia komputerowa – korzyści i ograniczenia

Computerized Electronystagmography – Advantages and Limits

Słowa kluczowe: elektronystagmografia, system komputerowy, analiza komputerowa.

Key words: electronystagmography, computer system, computer analysis.

Streszczenie

W pracy przedstawiono zarys historii rozwoju metod rejestracji oczopląsu, w tym podstawy elektronystagmografii. Omówiono kilka różnych systemów elektronystagmografii komputerowej oraz metod analizy komputerowej oczopląsu.

Na podstawie doświadczeń własnych oraz innych autorów stwierdzono, że najbardziej istotną korzyścią zastosowania techniki komputerowej w elektronystagmografii jest wyeliminowanie czasochłonnych i subiektywnych obliczeń wyników badania ENG, co zwiększa ich wiarygodność i wyklucza możliwość błędów metodycznych. Ponadto technika komputerowa pozwala na gromadzenie i przetwarzanie danych oraz sterowanie urządzeniami wytwarzającymi bodźce przedsionkowe i wzrokowe, co sprzyja obiektywizacji badań i umożliwia przeprowadzanie badań eksperymentalnych.

Podstawowym ograniczeniem elektronystagmografii komputerowej jest konieczność weryfikacji wzrokowej zapisów ENG, zawierających znaczne zakłócenia, oraz jej wysoki koszt. Ponadto prawdziwość wyników zależy w dalszym ciągu od przestrzegania prawidłowej procedury badania.

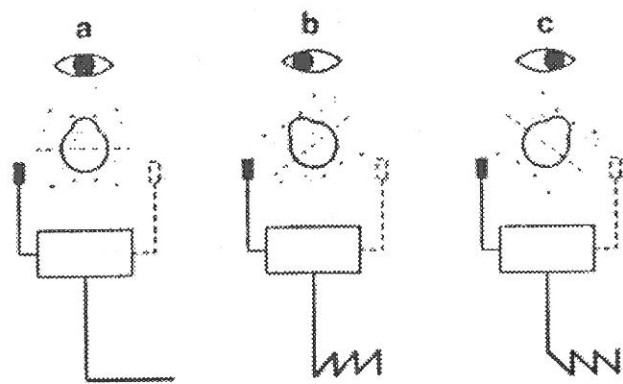
Summary

We have the history of nystagmus registration methods development together with basic information on electronystagmography. There are some computer electronystagmography systems and some computer analysis of nystagmus described in this report.

According to our and other authors experiences the most important advantage in computer analysis technique is the possibility of elimination time-consuming and subjective calculations. Thanks to that the results are deprived of methodical mistakes and more reliable. Moreover, computer technique lets us gather and transform data and also helps to control mechanisms that produce

vestibular and visual stimuli. This process avails to objectivize investigations and to perform experiments. The basic limitation for computer analysis technique in nystagmography is the necessity of visual verification in case of serious artefacts as well as high expenses. Besides the veracity of results still depends on the right procedure of the examination.

Elektronystagmografia jest rutynową metodą rejestracji oczopląsu, stosowaną od wielu lat w diagnostyce otoneurologicznej. U podstawy metody leży odkrycie fizjologa niemieckiego Dubois-Reymonda w 1849 r., że oko żaby jest układem spolaryzowanym, stanowiącym dipol, z biegunem ujemnym na siatkówce i biegunem dodatnim na rogówce [cyt. za: Bochenek, Latkowski 1998].



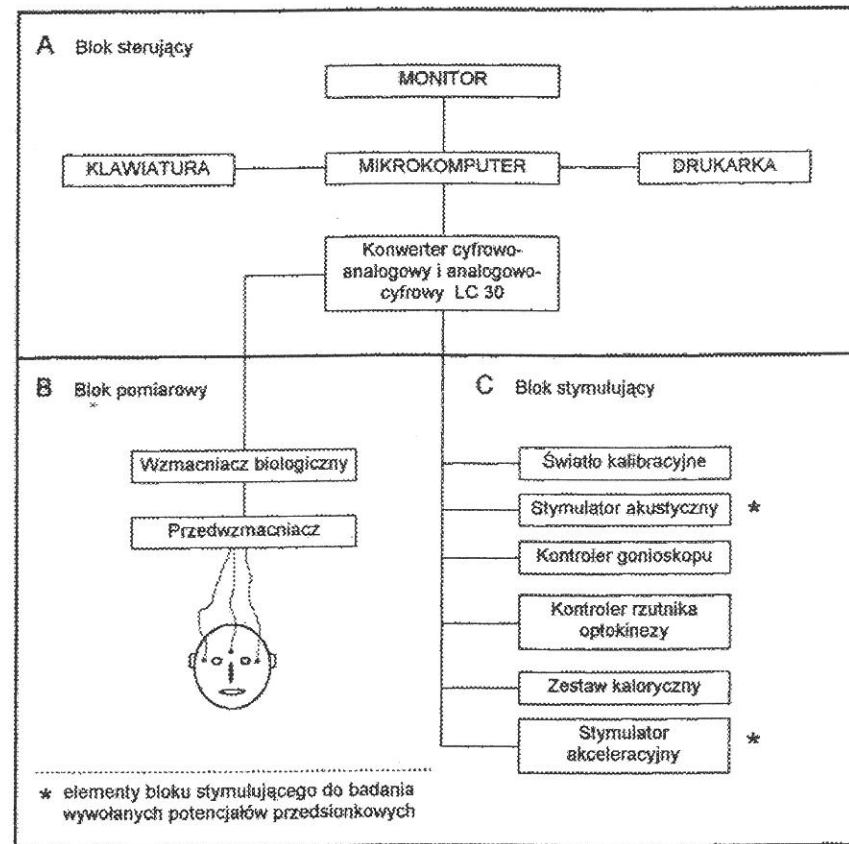
Ryc. 1 Zasada elektronystagmografii [według: Bochenek, Latkowski 1998]

Zmiany pola elektrostatycznego wytworzonego wokół oka przez dipol rogówkowo-siatkówkowy, powstające w czasie ruchu gałek ocznych, są przekazywane przez elektrody do układu rejestrującego. W ten sposób pierwszą rejestrację ruchów gałek ocznych uzyskał w 1922 r. Schott, natomiast w 1929 r. Myers metodę tę nazwał elektronystagmografią [cyt. za: tamże]. W latach następnych nastąpił znaczny rozwój elektronystagmografii, która znacząco poszerzyła możliwości diagnostyki otoneurologicznej. Już w 1963 r. Aschan przedstawił swoje 12-letnie doświadczenia w zakresie elektronystagmografii na podstawie wyników badań 25 000 chorych, zgłaszających zawroty głowy [Latkowski 1976].

Elektronystagmografia jest jedną z wielu metod rejestracji oczopląsu, które zostały opracowane od początku XX w. Najstarsze z nich, z początku XX w., które można określić jako mechaniczne, opracowane głównie w doświadczeniach na zwierzętach, stosowały różne sposoby mające ułatwić obserwację oczopląsu i jego zapisanie. W tym celu np. przyklejano do rogówki miniaturowe lusterka, wbijano igłę w środkową część rogówki oraz używano jeszcze wiele innych pomysłów

sposobów, które mają dzisiaj tylko historyczne znaczenie (np. Purkinje, Orszański, Ahrens, Ewald). Inni (np. Coppez, Pinarolli) zapoczątkowali filmowanie oczopląsu. W metodzie fotoelektrycznej wprowadzonej przez Dohlmana i współpracowników rejestrowano zmiany oporności elektrycznej fotokomórki w czasie ruchów oczu w świetle podczerwonym, które w różny sposób zabarwia źrenicę, tęczówkę i twardówkę. Latkowski i Kukulski w 1965 r. w swoim fotonystagmometrze wykorzystali odbicie światła od rogówki, które było skierowane na fotokomórkę [cyt. za: Bochenek, Latkowski 1998]. Fotoelektronystagmografia, wprowadzona w 1957 r. przez Toroka, również opiera się na rejestracji przez fotokomórki odbicia wiązki promieni podczerwonych od tęczówki, jednak zmiany natężenia odbicia światła w czasie ruchu oczu zostają zamienione na wahania napięcia i po wzmocnieniu zapisane na papierze. Rozwinięciem tej metody jest videonystagmografia, wprowadzona w latach 1989-1991, w której do zapisu ruchu gałek ocznych użyto videokamery. Stanowi ona istotny postęp w rejestracji oczopląsu, gdyż jest metodą bardziej czułą i nie ma niektórych ograniczeń klasycznej elektronystagmografii [Latkowski 1976].

Wykorzystanie techniki komputerowej w elektronystagmografii było wyrazem chęci wyeliminowania żmudnych, czasochłonnych i subiektywnych obliczeń wyników badań – dla ich obiektywizacji i skrócenia czasu badania. Już w 1968 r. Herberts i współpracownicy przedstawili pracę o możliwości zastosowania komputera w badaniach elektronystagmograficznych [cyt. za: Bochenek, Latkowski 1998]. W następnych latach stworzono liczne systemy komputerowe, różniące się głównie sposobem automatycznej analizy oczopląsu. Początkowo stosowano systemy „off – line”, w których wyniki badań zapisywano na taśmie magnetycznej, a następnie analizowano [Ranacher, Moser 1975; Baloh (i inni) 1980; Wall (i inni) 1981; Barnes 1982; Wortmann 1985 – cyt. za: Allum (i inni) 1989; Boloh (i inni) 1975; Baloch (i inni) 1980; Brookler, Pulec 1970]. W ten sposób dokonano pomiaru wielu parametrów oraz ich zmiennych, oceniając ich przydatność w różnicowaniu wychylenia oczopląsowego od artefaktów [Allum (i inni) 1989; Baloh (i inni) 1975; Bochenek 1963]. Dalszym krokiem było wprowadzenie analizy bezpośredniej zapisu („on – line”) w czasie prowadzenia badań [Allum (i inni) 1975; 1989; Watanabe (i inni) 1983; 1993; Cullagh (i inni) 1990; Sauter (i inni) 1991; Formby (i inni) 1992. Również w Polsce od połowy lat osiemdziesiątych trwały prace nad stworzeniem elektronystagmografii komputerowej [Frączewski, Pośpiech 1984; Bień, Gołębiowska 1986; Gregorczyk (i inni) 1990; Miszke (i inni) 1993; Pośpiech (i inni) 1994; Janczewski (i inni) 1996]. Na ryc. 2 przedstawiono przykładowy schemat blokowy systemu elektronystagmografii komputerowej.



Ryc. 2. Schemat blokowy systemu komputerowego do badania narządu przedsionkowego [Frączkowski (i inni) 1994]

Podstawowym składnikiem systemu jest mikrokomputer PC z aparaturą pomiarową i stymulującą. Niezbędnym elementem każdego systemu jest wzmacniacz biologiczny, wzmacniający sygnały bioelektryczne z elektrod, oraz konwerter A/C, przetwarzający je z postaci analogowej na postać cyfrową, która dopiero może być poddana automatycznej analizie. Część stymulacyjna składa się z aparatury do wykonywania testów kalorycznych, optokinezy, próby śledzenia wahadła, testowania ruchów śledzenia, próby fotela wahadłowego i innych, w zależności od możliwości danego systemu. System umożliwia śledzenie reakcji oczopląsowej na monitorze komputera oraz jej zapisanie na papierze, zwykle w skróconej formie. Często zawiera oprócz liczbowych również graficzną prezentację wyników prób kalorycznych, co ułatwia ocenę wyników [Allum (i inni) 1989;

Baloh (i inni) 1975; Frączkowski, Pośpiech 1984; Gregorczyk (i inni) 1990; Janczewski (i inni) 1996; Juhola, Pyykko 1987; Ranacher 1977; Watanabe (i inni) 1983; Watanabe, Takeda 1996].

Zasadniczym problemem w komputerowej analizie oczopląsu jest rozpoznanie jego fazy wolnej i szybkiej. Zapisy ENG nieregularne, zawierające liczne zaburzenia mogą być przyczyną nieprawidłowej kwalifikacji wychyleń nystagmoidalnych gałek ocznych jako oczopląsu [Allum (i inni) 1975; Cullagh, Houston 1990; Janczewski (i inni) 1996; Perez (i inni) 1996]. W literaturze zaprezentowano wiele różnych algorytmów służących wykrywaniu fazy szybkiej lub wolnej w celu identyfikacji wychyleń oczopląsowych. Algorytm Alluma i współpracowników identyfikował fazę szybką przez porównanie bezpośredniej prędkości oka z funkcją bieżącej fazy wolnej [1975]. Sauter i współpracownicy [1991] analizowali ruchy śledzenia i *saccad* za pomocą filtra Kalmana z użyciem algorytmu Hinkleya. Engelken i Stevens [1990] zastosowali filtry liniowe i nieliniowe do wykrywania fazy szybkiej. Baloh i współpracownicy [1975; 1980] obliczali prędkość fazy szybkiej jako funkcję prędkości krzesła lub bębna optokinetycznego. Formby i współpracownicy [1992] do rekonstrukcji fazy wolnej wykorzystali model matematyczny z zastosowaniem metody najmniejszych kwadratów. Juhola [1991] zastosował metodę analizy syntaktycznej w ocenie sinusoidalnych ruchów oczu, ponadto wraz z Pyykko [1987] badał wpływ częstotliwości próbkowania na prędkość fazy wolnej i szybkiej oczopląsu. W algorytmie Janczewskiego i współpracowników [1996] zastosowano różniczkowanie przefiltrowanego cyfrowo sygnału ENG, w którym detektor rozpoznawał fazę szybką. Zasadniczym parametrem służącym detekcji fazy szybkiej była pochodna sygnału, czyli chwilowa prędkość gałek ocznych.

Rozwój techniki komputerowej i oprogramowania oraz nabyte doświadczenia spowodowały powstanie profesjonalnych systemów elektronystagmografii komputerowej, używanych od lat osiemdziesiątych w praktyce klinicznej (Hortmann, Tonnie, Nicolet).

Zastosowanie techniki komputerowej w elektronystagmografii przyniosło szereg korzyści poprzez:

- zwiększenie wiarygodności wyników przez obiektywny dobór szczytu reakcji pokalorycznej, z automatyczną oceną i analizą ilościową wyników, która eliminuje możliwość błędów metodycznych;
- możliwość uzyskania wiarygodnych, trudnych do obliczenia metodą tradycyjną, parametrów oczopląsu;
- ułatwienie i skrócenie czasu oceny diagnostycznej przez lekarza dzięki wynikom otrzymanym bezpośrednio po zakończeniu badań w skróconej i przejrzystej formie;
- wyeliminowanie czasochłonnych, w znacznym stopniu subiektywnych obliczeń

(skrócenie w całości badania ENG umożliwiła przebadanie większej liczby chorych i zmniejszenie kosztu badania jednostkowego);

- możliwość archiwizacji i przetwarzania zarejestrowanych danych (ułatwienie dokumentowania wyników, badań retrospektywnych, analiz statystycznych itd.);
- zastosowanie komputera do sterowania urządzeń wytwarzających bodźce przed-sionkowe i wzrokowe, umożliwiające przeprowadzanie szeregu badań eksperymentalnych, np. współdziałania przedsionkowo-wzrokowego oraz innych testów.

Jednakże skomputeryzowana elektronystagmografia nie jest pozbawiona pewnych wad. Technika komputerowa nie rozszerzyła możliwości diagnostycznych elektronystagmografii jako metody rejestracji oczopląsu, jest natomiast znacznie droższa. Obiektywizm obliczonych automatycznie wyników nie będzie równoznaczny z ich prawdziwością, jeśli nie zostanie zachowana prawidłowość procedury badania i nie zostaną uwzględnione czynniki mające wpływ na rejestrowany zapis [Bochenek 1963; Bochenek, Latkowski 1998; Latkowski 1976; Perez (i inni) 1996]. W przypadku elektronystagmogramów zawierających zakłócenia o różnym charakterze – dla uniknięcia poważnych błędów diagnostycznych zapis wymaga zawsze analizy wzrokowej przez doświadczonego lekarza.

Bibliografia

- Allum J., Tole J., Weiss A., 1975: MITNYS-11-A digital program for on-line analysis of nystagmus. „IEEE Trans. Biomed. Eng.” 22, 196-204.
- Allum J., Honneger F., Pfaltz C., 1989: Automatic electronystagmus analysis and documentation: recent advances in the study of vestibular, optokinetic and pursuit tracking function. „J. Otorhinolaryngol. Relat. Spec.” 51, 1, 1, 14-32.
- Baloh R. W., Kumley W., Sills A., Honrubia V. 1975: Quantitative measurement of saccade amplitude, duration and velocity. „Neurology” 25, 1065-1072.
- Baloh R. W., Langhofer L., Honrubia V., Yee R. D., 1980: On-line analysis of eye movements using a digital computer. „Aviat. Space Envir. Med.” 51, 6, 563-567.
- Bień S., Gołębiowska E., 1986: Zastosowanie komputerowej analizy sygnału ENG do badań nad oczopląsem optokinetycznym. „Otolaryng. Pol.” 42, 6, 428-433.
- Bochenek Z., 1963: Badania doświadczalne i kliniczne nad przydatnością elektronystagmografii w ocenie czynności narządu przedsionkowego. Ośrodek Wydawniczy AM, Warszawa.
- Bochenek Z., Latkowski B., 1998: Rejestracja zjawisk oczopląsowych. W: Otoneurologia. Red. G. Janczewski, B. Latkowski. Warszawa: BEL CORP Scientific Publications.
- Brookler K. H., Pulec J. L., 1970: Computer analysis of electronystagmography records. „Adv. Otolaryngol.” 17, 563-575.
- Cullagh P. J., Houston H. G., 1990: Microcomputer based analysis of nystagmus eye movement. „Br. J. Audiol.” 24, 2, 111-116.
- Engelken E., Stevens B. S., 1990: A new approach to the analysis of nystagmus: an application for order-statistic filters. „Aviat. Space Envir. Med.” 61, 9, 859-864.
- Formby C., Kuntz L. A., Rivera-Taylor I. M., Rivera-Mraz N., Weesner D. R., Butler-Young N. E., Ahlers A. E., 1992: Measurement, analysis and modelling of the caloric response. 2. „Acta Otolaryngol. (Stockh.) Suppl.”, 498, 19-29.

- Frączkowski K., Pośpiech L., 1984: Możliwości wykorzystania techniki komputerowej w badaniach elektronystagmograficznych. „Biul. Tech. Inf. Mera” 11/12, 60-62.
- Gregorczyk G., Wójtowicz J., Bień S., Gołębiowska E., 1990: Analiza komputerowa sygnału ENG w czasie rzeczywistym. „Otolaryng. Pol.” 44, 2, 116-121.
- Honrubia V., Strelhoff D., Ward P. H., 1973: Computer analysis of nystagmus induced by constant angular accelerations in normal and labyrinthectomized cats. „Adv. Oto-Rhino-Laryng.” 19, 254-265.
- Janczewski G., Zajac J., Pierchała K., Dawidowicz J., Kowalski W., Kochanek K., 1996: Computer analysis of nystagmus. „Otolaryng. Pol.” 50, 4, 428-434.
- Juhola M., 1991: A syntactic analysis method for sinusoidal tracking eye movements. „Comput. Biomed. Res.” 24, 222-233.
- Juhola M., Pyykko J., 1987: Effect of sampling frequencies on the velocity of slow and fast phases of nystagmus. „Int. J. Biomed. Comput.” 20, 253-263.
- Latkowski B., 1976: Podstawy elektronystagmografii. Warszawa: PZWL.
- Miszke A., Rapacz K., Augustyniak P., Sokołowski J., 1993: Komputerowa analiza próby kalorycznej. „Otolaryng. Pol.” 47, 1, 63-67.
- Perez Fernandez N., Espinoza Sanchez J. M., Garcia Tapia Urrutia, 1996: Errors in computerized electronystagmography. „Acta Otorrhinolaryngol. Esp.” 47, 5, 354-358.
- Pośpiech L., Frączkowski K., Orendorz-Frączkowska K., 1994: Komputerowy system badań elektronystagmograficznych. Część II. Metoda analizy oczopląsu. „Otolaryng. Pol.” 48, 6, 556-561.
- Ranacher G., 1977: Nystagmus analysis by computer. „Arch. Oto-Rhino-Laryng.” 215, 3-4, 257-263.
- Sauter D., Martin B., Di Renzo N., Vomscheid C. 1991: Analysis of eye tracking movements using innovations generated by a Kalman filter. „Med. Biol. Eng. Comput.” 29, 1, 63-69.
- Watanabe Y., Ohashi N., Kobayashi H., Takeda S., Mizukoshi K., 1983: Computer analysis of electronystagmography recordings in routine equilibrium examination. „Adv. Otorhinolaryngol.” 30, 187-192.
- Watanabe Y., Takeda S., 1996: Computerized electronystagmography. „Acta Otolaryngol. (Stockh. Suppl.” 522, 26-31.