УДК.53.05:617.735

О. Мацюк, М. Паламар

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА І ГАРМОНІЙНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОРЕТИНОГРАМ

Електроретинографія є одним з методів оцінки функціонального стану сітківки. Розглядаючи електроретинограму як нестаціонарний випадковий процес, проведено попередній аналіз електроретинограми з використанням спектрального аналізу і методів математичної статистики.

Зорова система займає основне місце серед інших сенсорних систем людини, забезпечуючи сприймання близько 80% інформації з навколишнього середовища. Надзвичайно важливою проблемою в офтальмології є отримання ранньої об'єктивної діагностичної інформації про стан зорової системи, що дало б змогу виявляти відхилення в її роботі на ранніх стадіях і не допускати ускладнень. В зв'язку з цим, дослідження і розробка нових методів, алгоритмів обробки інформації і апаратури діагностики та лікування зорової системи постає досить актуальною задачею.

Однією з найінформативніших стандартних методик діагностики є методика, побудована на аналізі електроретинограми (ЕРГ), яка становить графічне вираження біоелектричної реакції фоторецепторів і інших клітин сітківки ока на зовнішнє світлове подразнення.

Для реєстрації і аналізу ЕРГ-сигналів створена комп'ютерна вимірювальна система ДКЗО-01 [1], яка має змогу реєструвати і накопичувати у вигляді інформаційних баз даних вимірювальну інформацію. Суть методу полягає в тому, що проводиться подразнення ока за допомогою короткочасних імпульсів світла. Реакцією на це подразнення є характерний відгук сітківки, який називаємо електроретинограмою. Для оцінки стану сітківки виникає необхідність аналізу зареєстрованої електроретинограми, виділення інформативних ознак і встановлення діагнозу.

Попередній аналіз показує, що електроретинограма - це суміш детермінованого і випадкового процесу, який позначимо через

$$y(t) = x(t) + \xi(t), \qquad \{t \in (0,T)\}, \tag{1}$$

де $(0,T)$ - інтервал спостереження. Випадкова складова задовільняє умові: $E(\xi(t)) = 0$. При реєстрації ЕРГ-сигналу проводиться його дискретизація з періодом Δt і кількістю точок n. Оцінку інформативної складової отриманого сигналу можна провести методом усереднення по ансамблю L реалізацій:

$$\hat{y}_i(n \cdot \Delta t) = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} y_i(n \cdot \Delta t), \tag{2}$$

внаслідок чого співвідношення корисного сигналу до завад зростає в $\sqrt{L}$ разів і із зростанням кількості реалізацій $\hat{y}$ прямує до $\hat{x}$. Разом з тим слід відмітити, що із збільшенням L зростає час реєстрації, порушується темнова адаптація ока і зростає нестаціонарність процесу.

На рис.1. приведене типове усереднене значення ЕРГ здорової людини, отримане на дискретній множині точок з кроком дискретизації $\Delta t = 0.5$ мс.

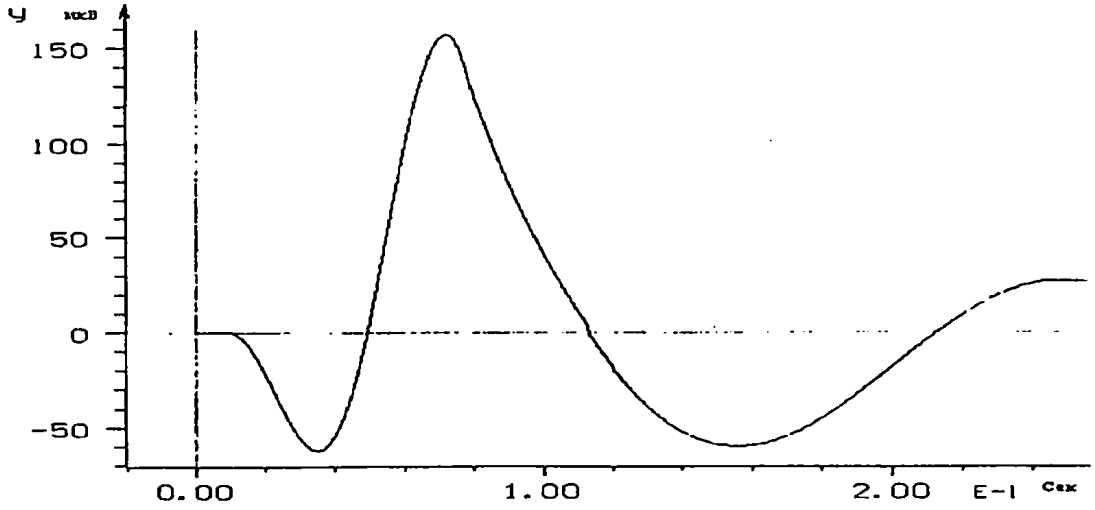


Рис.1 Графік загальної електроретинограми (умовна норма)

На першому етапі дослідження використовуємо спектральний аналіз з допомогою рядів Фур'є, а також інтерполяцію узагальненої норми електроретинограми з допомогою поліноміальних сплайнів для графічного порівняння відхилень від норми.

Відомо (1), що задану функцію f(t) неперервну на відрізку $(0,T)$ можна подати у вигляді ряду Фур'є: [2]

$$x_n = \frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1} S_k \cdot e^{i\frac{2\pi}{N}kn}, \tag{3}$$

де k - номер гармоніки, а коефіцієнти розкладу S_k визначаються формулою:

$$S_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-i\frac{2\pi}{N}kn}. \qquad (4)$$

Спектральний аналіз електроретинограми з допомогою ряду Фур'є був проведений для середнього значення ЕРГ різних пацієнтів. Результати обчислень приведені на рис.3 і рис.4. На рис.2. приведено графік електроретинограми хворого пацієнта, а на рис.3 - амплітудний і фазовий спектри для цього ж пацієнта. На рис.4 подано амплітудний і фазовий спектри для здорового пацієнта, графік ЕРГ якого показано на рис.1

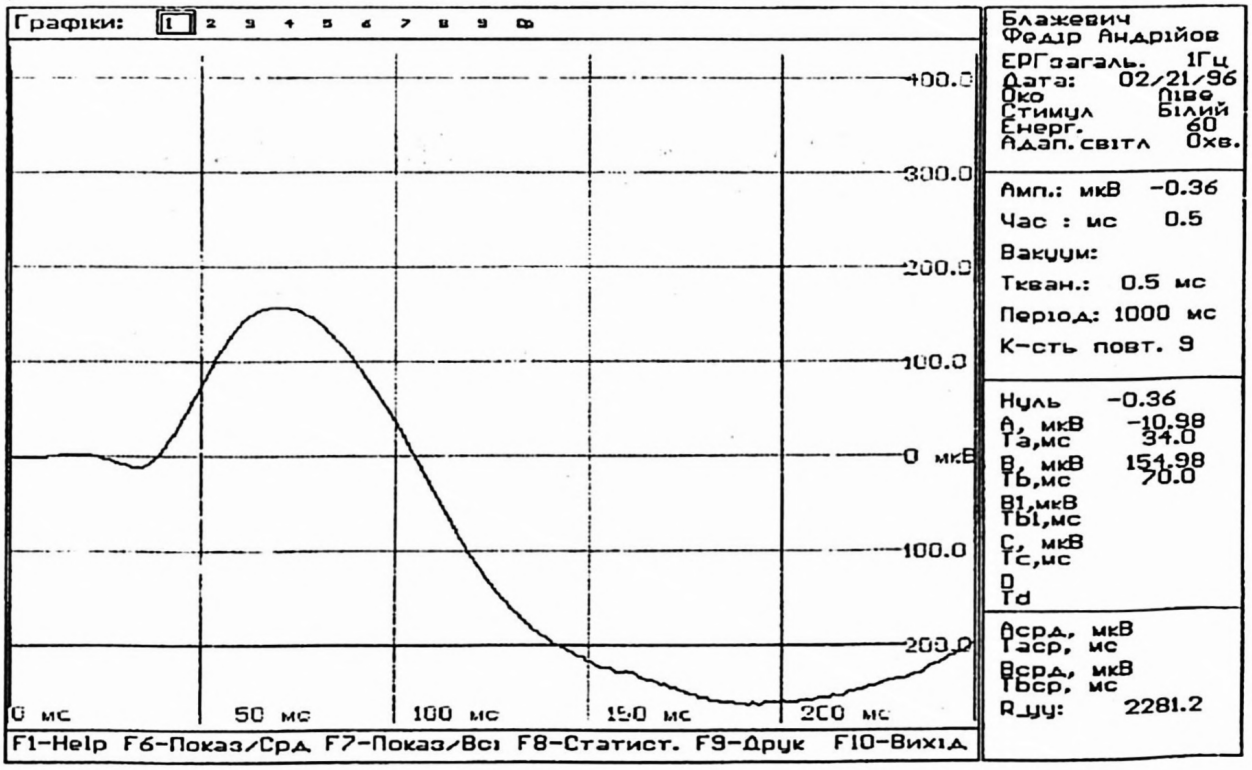


Рис. 2 Графік загального ЕРГ-сигналу хворого пацієнта (центральна дегенерація сітківки)

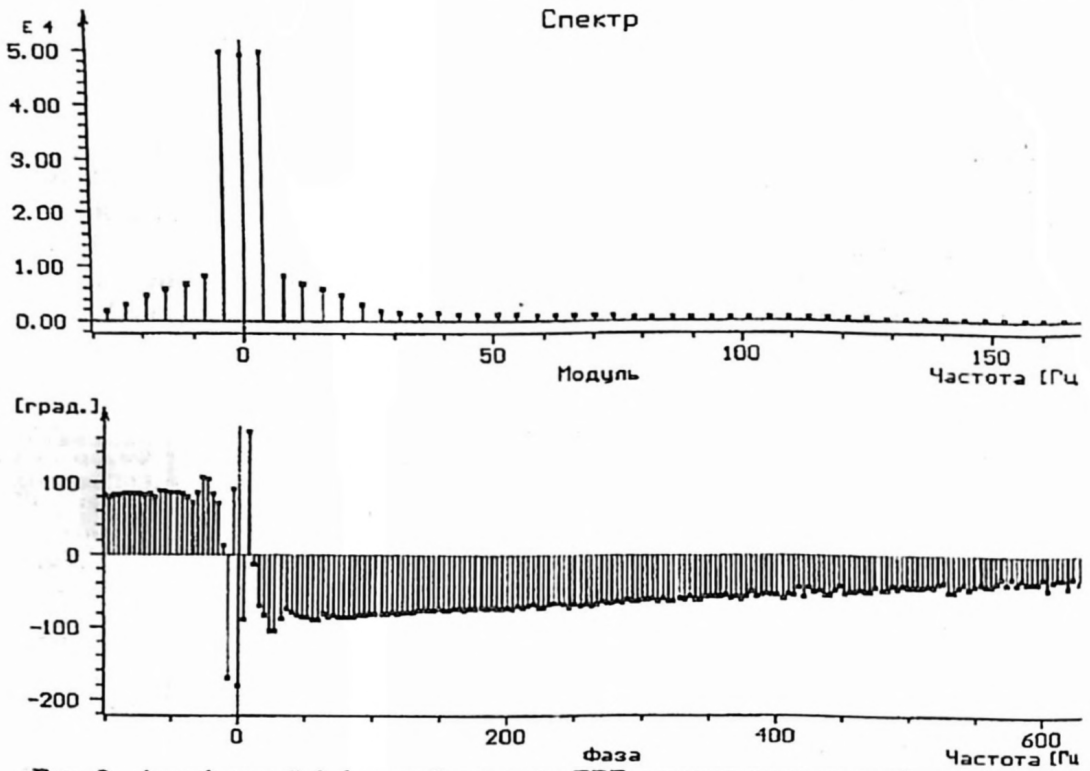


Рис. 3 Амплітудний і фазовий спектри ЕРГ-сигналу хворого пацієнта (центральна дегенерація сітківки)

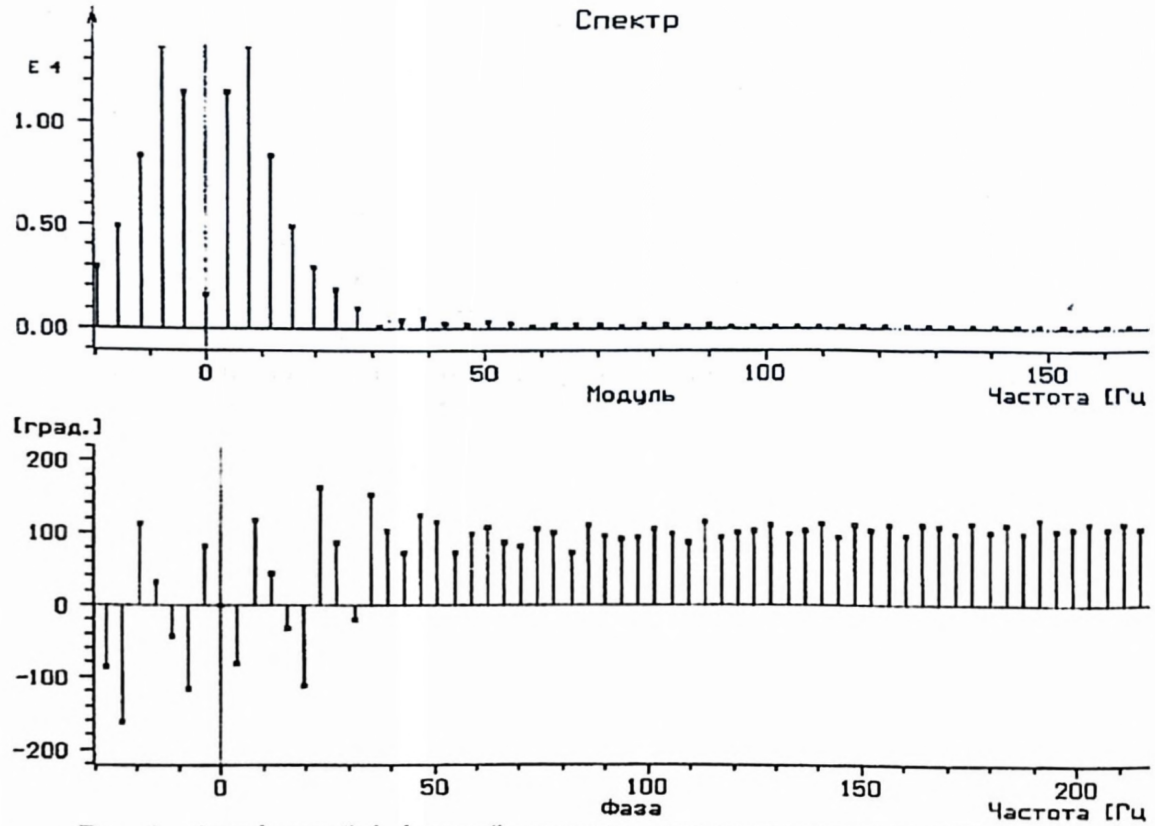


Рис. 4 Амплітудний і фазовий спектри електроретинограми здорового пацієнта згідно графіка на рис.1 (умовна норма)

Результати показують, що для здорового пацієнта перші п'ять гармонік ряду Фур'є суттєво відрізняються від аналогічних коефіцієнтів хворого пацієнта і можуть служити діагностичними ознаками при аналізі захворювань.

Для проведення статистичної обробки використовувався пакет прикладних програм "NYMERI" [3].

Summary. Electroretinography is one of the methods of retina functional state estimation. A preliminary electroretinogram analysis by means of spectrum analysis and mathematical statstics methods is executed, assuming electroretinogram as a nonstationary randon process.

Література

1. Ткачук Р.А., Паламар М.І. Адаптивна комп'ютерна вимірювально-керуюча система для дослідження біопотенціалів ока.//Тези доповіді на 3-й Міжн. Конф. "Контроль и управление в технических системах". -Вінниця, 18-21.09.95., с.335-336.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Физматгиз, 1962. - 356 с.
3. Е.Шрюфер.Цифрова обробка дискретизованих сигналів. -К.:Либідь, 1992. - 294 с.
4. Смирнов Н.В.,Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. -М.: Наука, 1969. - 511 с.