

Гурский И.С., Лихачев С.А., Марьенко И.П.

Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,  
Минск, Беларусь

## Способ автоматического распознавания фаз нистагма и оценки их скорости

**Введение.** Для объективной оценки вестибулярной функции очень важным является измерение параметров нистагма, в частности скорости его медленной

фазы (СМФ) и скорости быстрой фазы (СБФ) при различных функциональных пробах, таких как калорическая стимуляция, вращательная стимуляция, опто-кинетическая стимуляция и др. Чтобы измерить скорости фаз нистагма, их необходимо распознать, т.е. определить для каждого нистагмического цикла время начала и конца быстрой и медленной фаз. Программное обеспечение многих электронистагмографических аппаратов имеет функцию автоматического распознавания фаз нистагма. Такую функцию имеет поставляемое с отечественным аппаратом АЭНГ-1 программное обеспечение, однако примененный в нем алгоритм распознавания фаз нистагма недостаточно точно определяет фазы нистагма в условиях наличия шума и колебаний изолинии сигнала, приводя в таких случаях к недостоверным результатам измерений.

**Цель исследования:** разработка помехоустойчивого способа автоматического распознавания фаз нистагма (быстрой и медленной) с оценкой СМФ и СБФ, применимого для анализа записей прибора АЭНГ-1.

**Материалы и методы.** Нами предложен способ автоматического распознавания фаз нистагма, реализованный посредством следующего вычислительного алгоритма.

Цифровую запись сигнала канала электронистагмографа, выбранного для распознавания фаз нистагма, обозначим как массив  $y$ , где  $i$ -му значению соответствует разность потенциалов, измеренная данным каналом прибора в  $i$ -й момент времени. Прошедшее с момента начала записи время  $t_i = i * f$ , где  $f$  – частота дискретизации сигнала (в случае аппарата АЭНГ-1 равна по умолчанию 470 Гц).

Первым этапом алгоритма является вычисление скорости изменения разности потенциалов  $dy/dt$  методом линейной регрессии и обнаружение пиков  $|dy/dt|$ , которые соответствуют быстрым фазам нистагмических циклов. Задается ширина окна выборки для проведения линейной регрессии, минимальное расстояние между пиками, минимальное значение  $|dy/dt|$ .

Далее проводится перебор различных сочетаний индексов начала и конца быстрой фазы нистагма в пределах, которые задаются параметрами  $\text{minsaccwnd}$  и  $\text{maxsaccwnd}$ , и выбирается то сочетание индексов  $i_1$  и  $i_2$ , при котором максимально значение весовой функции:

$$WFP(i_1, i_2) = \frac{|k|^{0.3} (i_2 - i_1 + 1)}{\left( k^2 \sum_{i=i_1}^{i_2} i^2 + (i_2 - i_1 + 1)b^2 + \sum_{i=i_1}^{i_2} y_i^2 + 2kb \sum_{i=i_1}^{i_2} i - 2k \sum_{i=i_1}^{i_2} iy_i - 2b \sum_{i=i_1}^{i_2} y_i \right)^{0.7}}$$

где  $k$  и  $b$  – коэффициенты уравнения линейной регрессии  $y = ki + b$ , аппроксимирующего изменение сигнала на отрезке записи с индексами от  $i_1$  до  $i_2$ ;  $i_1$  [ $P - \text{maxsaccwnd}$ ;  $P - \text{minsaccwnd}$ ],  $i_2$  [ $P + \text{minsaccwnd}$ ;  $P + \text{maxsaccwnd}$ ];

$P$  – номер отсчета, соответствующий найденному пику скорости изменения сигнала.

СБФ рассчитывают по формуле:

$$СБФ = k * f * C_f,$$

где  $f$  – частота дискретизации;

$C_f$  – калибровочный коэффициент (размерность градус/В);

$k$  – коэффициент уравнения линейной регрессии  $y = ki + b$ , аппроксимирующего изменение сигнала на отрезке записи, соответствующем быстрой фазе.

Для выделения медленной фазы нистагма проводится перебор различных индексов начала медленной фазы нистагма в пределах, задаваемых параметрами  $minsprwnd$  и  $maxsprwnd$ , и выбирается то значение индекса  $i_1$ , при котором максимально значение весовой функции:

$$WSP(i_1, i_2) = \frac{|k|^{0.7} (i_2 - i_1 + 1)}{\left( k^2 \sum_{i=i_1}^{i_2} i^2 + (i_2 - i_1 + 1)b^2 + \sum_{i=i_1}^{i_2} y_i^2 + 2kb \sum_{i=i_1}^{i_2} i - 2k \sum_{i=i_1}^{i_2} iy_i - 2b \sum_{i=i_1}^{i_2} y_i \right)^{0.3}},$$

где  $k$  и  $b$  – коэффициенты уравнения линейной регрессии  $y = ki + b$ , аппроксимирующего изменение сигнала на отрезке записи с индексами от  $i_1$  до  $i_2$ ;

$i_1 [i_2 - maxsprwnd; i_2 - minsprwnd]$ ,  $i_2$  – индекс отсчета сигнала, с которого начинается быстрая фаза.

Если промежуток времени между определенным по вышеописанным формулам концом быстрой фазы одного цикла и началом медленной фазы следующего цикла не больше определенного, задаваемого врачом значения, то за начало медленной фазы второго нистагмического цикла принимается конец быстрой фазы первого.

СМФ рассчитывают по формуле:

$$СМФ = k * f * C_f,$$

где  $f$  – частота дискретизации;

$C_f$  – калибровочный коэффициент (размерность градус/В);

$k$  – коэффициент уравнения линейной регрессии  $y = ki + b$ , аппроксимирующего изменение сигнала на отрезке записи, соответствующем медленной фазе.

Предложенный алгоритм реализован в виде компьютерной программы, которая, кроме этого, включает возможность просмотра записей в виде графиков, ручного редактирования нистагмических циклов, фильтрации сигналов для дополнительного уменьшения влияния шума и колебаний изолинии, сохранения результатов измерений.

**Результаты и обсуждение.** Разработанная компьютерная программа для автоматического распознавания фаз нистагма и оценки их скорости по цифровой записи электронистагмографического сигнала была опробована на записях оптокинетического нистагма и вестибулоокулярного рефлекса, полученных на отечественном аппарате АЭНГ-1. Для большинства нистагмических циклов фазы нистагма были достаточно точно определены в соответствии с предложенным алгоритмом и не требовали редактирования вручную.

**Заключение.** Таким образом, предложенный алгоритм позволяет автоматически распознавать фазы нистагма и определять его параметры (СМФ и СБФ) по электронистагмограммам, в том числе по записям отечественного прибора АЭНГ-1, что ускорит и упростит обработку специалистом результатов обследования и будет способствовать таким образом внедрению прибора в практику отечественного здравоохранения.