

УДК 612.822.3:51+616.8-009.83

*Т.В. Острова***ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ НЕЙРОСІТЬОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАМИ Й ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ МОЗКУ**

Донецький державний медичний університет ім. М.Горького

Ключові слова: функціональний стан мозку, нейросітьове моделювання

Електроенцефалографія є одним з основних методів оцінки функції головного мозку. Упровадження комп'ютерних технологій розширило можливості ЕЕГ і полегшило її використання. Однак на сьогоднішній день відсутні методики інтегральної кількісної оцінки ЕЕГ людини при аналізі електричної активності мозку; не розроблені способи кількісної оцінки ступеня порушення ЕЕГ у хворих з тяжкою дисфункцією мозку, не знайдений взаємозв'язок між ступенем порушення непродуктивних форм свідомості і ступенем пору-

шення ЕЕГ; не вивчені реактивні перебудови ЕЕГ, її спектральні і когерентні характеристики, що укладаються в поняття «норма», і в динаміці прогресуючої та регресуючої гострої церебральної недостатності. У пропонуваній роботі ми спробували висвітлити деякі з вищевказаних проблем.

Мета дослідження: удосконалення діагностики функціонального стану головного мозку. Розробити нейросітьову модель для класифікації електроенцефалограми й оцінки функціонального стану мозку.

**Матеріал та методи дослідження**

Обстежено 78 добровольців віком від 21 до 38 років, які після проведеного обстеження були визнані соматично і неврологічно здоровими. Серед обстежених було 46 чоловіків і 32 жінки. Електроенцефалографічні дослідження були проведені в лабораторії функціональної діагностики у стандартних умовах. Після розшифрування електроенцефалограм лише у 54 осіб просторово-тимчасова реорганізація електричної активності відповідала поняттю «норма».

Обстежено 78 хворих із неврологічними розладами, зумовленими критичними станами. Хворі перебували на лікуванні у відділенні загальної і нейрореанімації обласної клінічної лікарні ім. М.І. Калініна м. Донецька, і мали такі захворювання: постасистолічний синдром (12), отруєння чадним (16) і рудниковим газами (14), еклампсія (17), тяжка черепно-мозкова травма (19). Чоловіків було 48, жінок – 30. Із 78 обстежених хворих 65 осіб одужало і 13 – померло.

Стан здорових добровольців і хворих оцінювали на підставі клінічних і функціональних методів дослідження, причому хворих обстежували в динаміці протягом усього періоду перебування у відділенні реанімації [3,5,7,8].

Реєстрацію біопотенціалів мозку здійснювали за допомогою нейрофізіологічного комплексу (комплекс топографічного картування ЕЕГ),

якій складався з таких компонентів: – 8-канальний електроенцефалограф фірми Medicor; – персональний комп'ютер IBM PC AT з аналогово-цифровим перетворювачем; – спеціальне програмне забезпечення для збереження й обробки електроенцефалограм [4,6].

Для створення системи автоматичної класифікації електроенцефалограм ми використовували метод математичного моделювання – нейронні мережі [1]. У основу класифікації покладене розкладання сигналу ЕЕГ у ряд Фур'є і наступний аналіз спектральної щільності електричних сигналів, зафіксованих у відведеннях.

Об'єктом класифікації були записи ЕЕГ, одержані при обстеженні 78 добровольців і 78 хворих з неврологічними розладами. Було оброблено 1851 запис ЕЕГ по 8-и відведеннях (всього 14808 об'єктів) для 156 осіб.

Спектр вихідного ряду розраховувався за формулою:

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n \times e^{-ix2pk/N} \quad (2.1)$$

де  $C_k$  –  $k$ -а складового спектра,  $N$  – кількість відрхувань у вхідних даних,  $X_n$  –  $n$ -ий елемент вихідних даних,  $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця.

Для розкладання вихідного сигналу в ряд Фур'є використовувалося стандартне швидке перетворення Фур'є (ШПФ). При розкладанні в ряд Фур'є, складові спектра  $C_k$  – комплексні

числа, при цьому фаза спектральної складової в побудові моделі класифікації не враховувалася, у розрахунок приймалася лише величина цієї складової –  $|C_k|$  [2]. У стандартному записі оброблялися сигнали тривалістю 16 секунд, отримані з дискретністю в  $\Delta t = \frac{1}{64}$  секунди. Це дозволило розраховувати спектр сигналу в діапазоні 0,1–32 Гц, що містить альфа, бета, гамма, тета частотні діапазони ЕЕГ.

Вхідними ознаками для системи автоматичної класифікації електроенцефалограм були обрані значення спектральної щільності потужності електричних сигналів  $P_i$  в діапазонах 0–32 Гц з дискретністю в 1 Гц, що розраховувалися шляхом інтегрування спектра вихідного сигналу на відповідному інтервалі:

$$P_i = \sum_{k=64(i-1)}^{64i} |C_k|^2 \quad (2.2)$$

де  $P_i$  - інтегральна щільність потужності сигналу в діапазоні  $i-1$  Гц –  $i$  Гц.

Для побудови математичної моделі класифікації ЕЕГ був обраний метод самоорганізованих карт Кохонена, призначений для проведення кластерного аналізу в системі багатомірних ознак. Це один із методів нейросітьового моделювання, який використовується для вирішення завдань розпізнавання образів [2]. Для реалізації цього алгоритму будується нейронна мережа, що складається із вхідного і вихідного шару. Кількість елементів вихідного шару (який називають також шаром топологічної карти [2]) дорівнює кількості кластерів, які буде розпізнавати

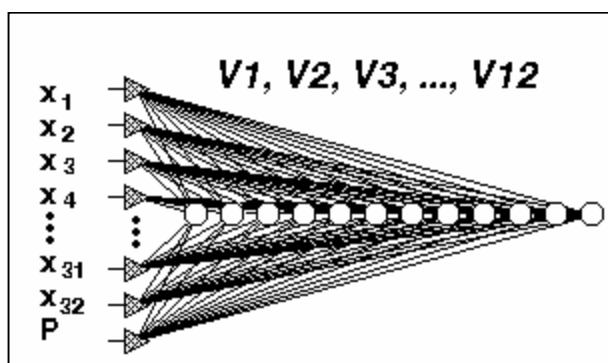
мережа. Елементи топологічної карти розташовуються в якомусь (як правило, двовимірному) просторі. Алгоритми Кохонена базуються на техніці «навчання без учителя» [2].

Після навчання подача вхідного вектора з цього класу буде призводити до вироблення збудливого рівня в кожному вихідному нейроні, при цьому нейрон з максимальним збудженням і являє класифікацію.

Побудова моделі класифікації запису сигналу ЕЕГ здійснювалася так. Після одержання спектра електричного сигналу по кожному відведенню він був нормований на загальну потужність сигналу по всіх 32-ох діапазонах частот. Отже, для кожного випадку був сформований 33-вимірний вектор ознак класифікації -  $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_{32}, P\}$ , причому,  $P = \sum_{i=1}^{32} P_i$ ,  $x_i = \frac{P_i}{P}$  де  $P$  – загальна потужність сигналу у всьому частотному діапазоні,  $x_i$  – відносна потужність сигналу в діапазоні  $i-1$  Гц –  $i$  Гц.

Таким чином, завдання виділення класів проводилося у 8x33 – вимірному просторі вхідних ознак. Виконання поставленого завдання було проведено в два етапи. На першому етапі класифікувалися запис сигналу ЕЕГ по кожному з восьми відведень (33 вхідних параметри), на другому етапі, на основі класифікації сигналу ЕЕГ для восьми відведень, проводилася класифікація всієї ЕЕГ.

Нейросітьові моделі будувалися з використанням пакета STATISTICA NEURAL NETWORKS [2].



**Мал.1.** Архітектура нейронної мережі Кохонена. Позначені нейрони вхідного шару ( $x_1, x_2, \dots, x_{32}$ ) і нейрони вихідного шару ( $V_1, V_2, \dots, V_{12}$ )

### Результати дослідження та їх обговорення

Розглянемо результати, одержані на першому етапі класифікації записів ЕЕГ по окремих відведеннях методом нейронних мереж.

Навчання нейронної мережі проводилося на 14808 записах за стандартною методикою [2]: на першому етапі тривалістю 500 ітерацій задавалася перемінна (лінійно зменшу-

вана) швидкість навчання з корегуванням положення нейронів, що перебувають у найближчій околиці до нейрона з найбільшим збудженням; на другому етапі тривалістю в 10000 ітерацій проводилося корегування положення вихідних нейронів у 33-мірному просторі вхідних ознак при малій швидкості

навчання з нульовою околицею корегування.

Після одержання стійкої картини кластеризації записів EEG, в остаточному варіанті була

отримана нейросіткова модель з 12-ма нейронами у вихідному шарі. У таблиці 1 наведений розподіл записів по кластерах.

Таблиця 1

Результати нейросіткового аналізу спектру EEG

| Кластер               | V1   | V2   | V3   | V4  | V5   | V6 | V7   | V8  | V9  | V10 | V11 | V12 |
|-----------------------|------|------|------|-----|------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Кількість записів EEG | 1087 | 1998 | 2957 | 916 | 2895 | 5  | 2355 | 916 | 393 | 338 | 917 | 31  |

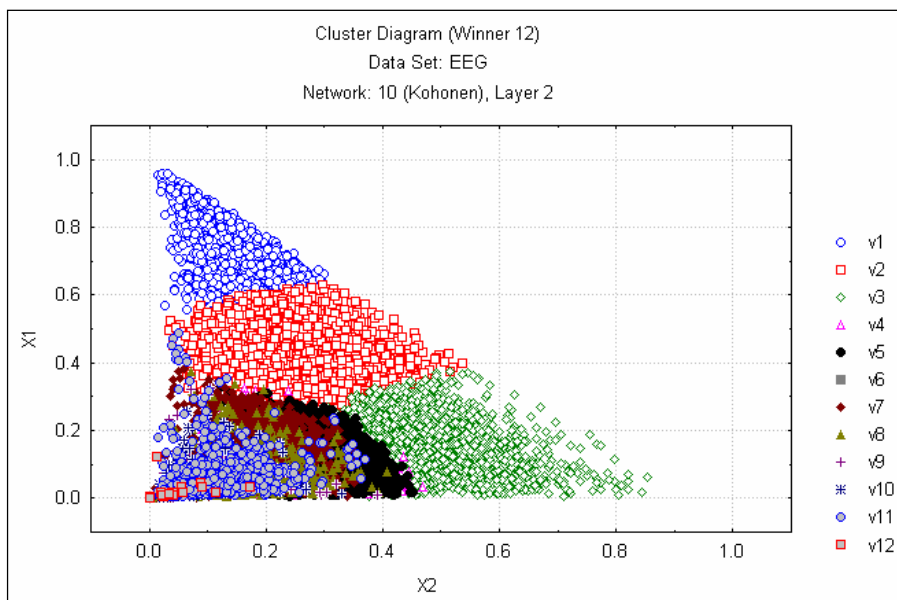
На мал. 2 і 3 наведено розподіл кластерів у просторі найбільш інформативних ознак. При цьому вхідні ознаки виражені у відносних одиницях.

Так, для кластерів V1, V2, V3 характерна висока потужність спектра EEG в зоні d-хвиль. На мал. 2 наведена кластерна діаграма в координатах  $x_1$ ,  $x_2$  (частотні діапазони 0-1 Гц, 1-2 Гц) вхідних ознак, що відповідають цьому діапазону хвиль.

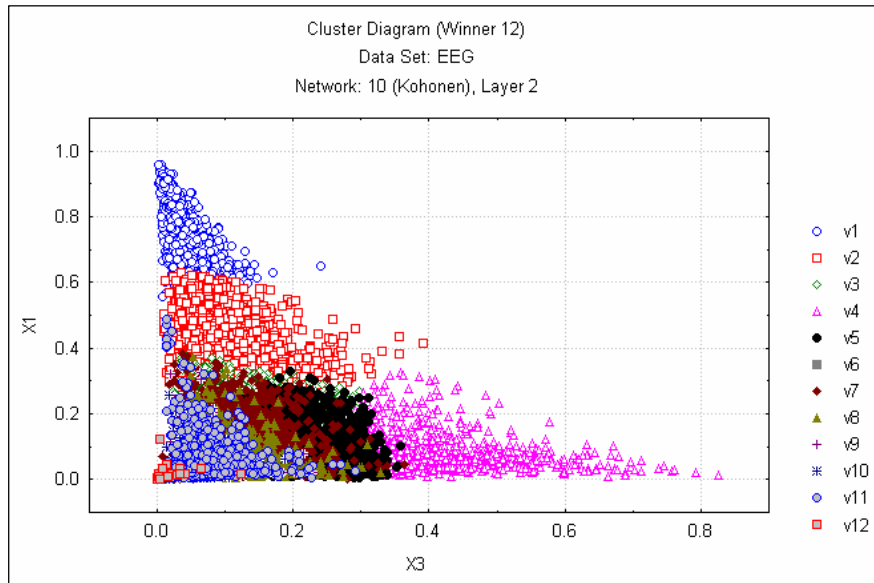
На мал. 3 наведена кластерна діаграма в координатах  $x_1$ ,  $x_3$  (частотні діапазони 0-1 Гц, 2-3 Гц) вхідних ознак. У цьому випадку чітко виділяються записи кластера V4. Можна також відмітити низьку d-хвильову активність для кластерів V11 і V12, на що вказує згущення записів EEG, віднесених до цих кластерів на початку координат (див. мал. 2 і 3).

У свою чергу, записи, віднесені до кластерів V9 і V10 характеризуються високою активністю в діапазоні a-хвиль, а до кластера V11 – активністю в діапазоні b-хвиль.

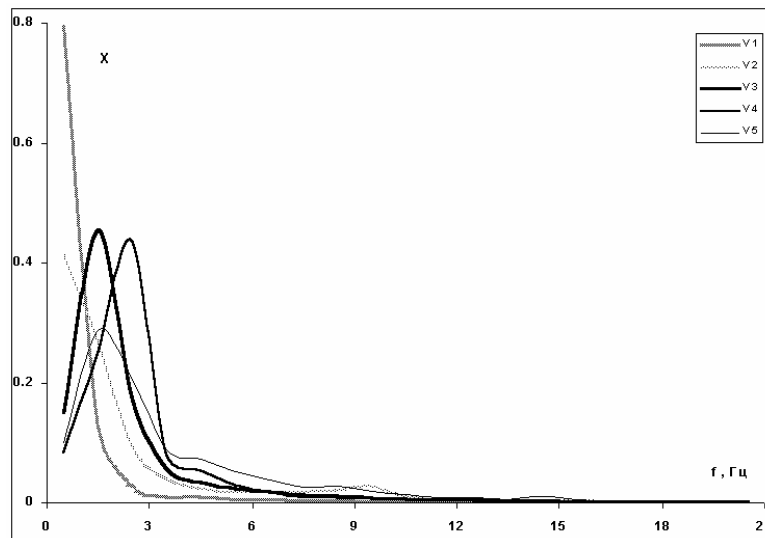
Докладний аналіз результатів класифікації показав, що ознаки  $x_{22}$ - $x_{32}$  при класифікації практично не значні. Так, нейросіткова модель класифікації за ознаками  $x_{22}$ - $x_{32}$  дозволила розподілити всі дані лише на два кластери, при цьому в 1 кластер було віднесено >14000 записів EEG, до інших кластерів – менше 1000. Це може бути пов'язано не лише з низькою інформативністю спектральної потужності EEG сигналу в діапазоні частот 22–32 Гц, але й з можливостями апаратури при записі EEG (спектральна потужність сигналу в цьому діапазоні на 1–4 порядки нижча, ніж у зоні діапазону -хвиль).



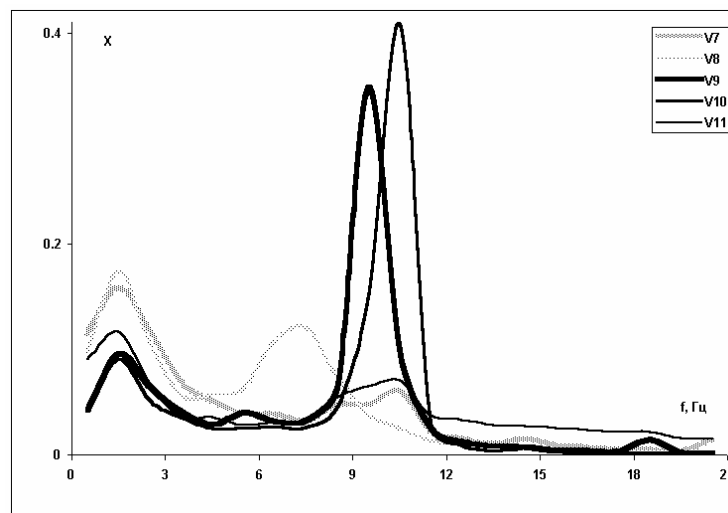
Мал. 2. Розподіл кластерів у просторі ознак  $x_2$  (1-2 Гц),  $x_1$  (0-1 Гц)



Мал. 3. Розподіл кластерів у просторі ознак  $x_3$  (2-3 Гц),  $x_1$  (0-1 Гц)



Мал. 4. Спектри потужності сигналів для кластерів V1 - V5  
X – потужність сигналу у відносних одиницях, f - частота в герцах.



Мал. 5. Спектри потужності сигналів для кластерів V7 - V11  
X – потужність сигналу у відносних одиницях, f - частота в герцах.

У зв'язку з цим в остаточному варіанті вхідний шар нейронної мережі для завдань класифікації EEG для окремого відведення складався з 22-х елементів –  $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_{21}, P\}$ . На малюнку 4 і 5 наведені спектри потужності сигналів, які характеризують кластери, виділені за допомогою нейросітьової моделі.

З мал. 4 і 5 видно, що відмінність між записами EEG по окремих відведеннях найбільше виявляється у трьох діапазонах частот: 0-4 Гц; 5-9 Гц; 8-11 Гц.

На підставі існуючих у наш час уявлень, можна говорити про те, що записи EEG, віднесені до кластерів V8, V9, V10, відповідають організованому типові EEG за кл.ЖЛ.

На другому етапі вирішення завдання створення системи автоматичної класифікації електроенцефалограм проводилася класифікація EEG, отриманої по всіх відведеннях для окремого сеансу запису. Класифікація проводилася за допомогою нейросітьової моделі. На вхід нейронної мережі подавалися номери класів, одержані при класифікації запису EEG по кожному відведенню на першому етапі, на виході одержували класифікацію досліджуваних EEG-патернів.

Навчання нейронної мережі проводилося на 1851 випадках для 164 обстежених за стандартною методикою [47]: на першому етапі тривалістю 500 ітерацій задавалася перемінна (лінійно зменшувана) швидкість навчання з корегуванням положення нейронів, що перебувають у найбільшій околиці до нейрона з найбільшим збудженням; на другому етапі тривалістю в 10000 ітерацій проводилося корегування положення вихідних нейронів у 8-мірному просторі вхідних ознак при малій швидкості навчання з нульовою околицею корегування.

Після одержання стійкої картини кластеризації записів EEG в остаточному варіанті була отримана нейросітьова модель з 16 нейронами у вихідному шарі. У таблиці 2 поданий розподіл записів по класах EEG (C1\_0-C1\_15).

На малюнках 6 – 9 наведені діаграми, які характеризують класи EEG, виділені за допомогою нейросітьової моделі.

Таблиця 2

### Результати нейросітьового аналізу EEG

| Клас EEG           | C1_1 | C1_2 | C1_3 | C1_4 | C1_5 | C1_6 | C1_7 | C1_8 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Кількість випадків | 90   | 138  | 96   | 44   | 93   | 87   | 105  | 24   |

| Клас EEG           | C1_9 | C1_10 | C1_11 | C1_12 | C1_13 | C1_14 | C1_15 | C1_0 |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Кількість випадків | 298  | 151   | 51    | 117   | 277   | 53    | 163   | 65   |

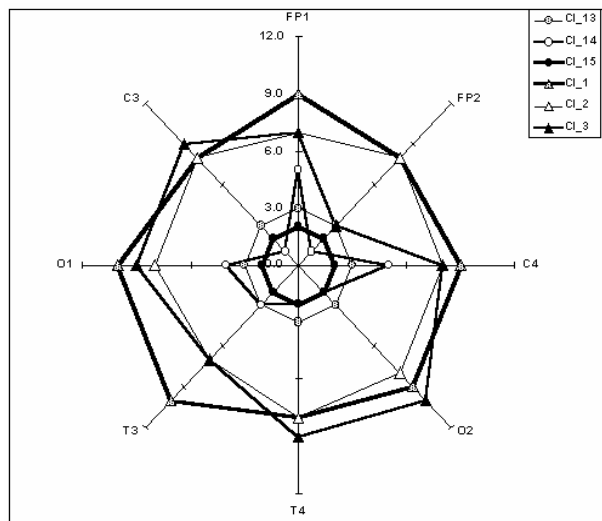
Аналізуючи виділені класи EEG, ми розподілили їх на 4 групи.

До I групи віднесені класи C1\_1, C1\_2, C1\_3. Для цієї групи характерне досить високе середнє значення номерів кластерів для всіх 8-и відведень (середнє значення номера кластера V8–V10). Таким чином, до цієї групи потрапили записи, що характеризуються високою активністю електричного сигналу в зоні діапазону  $\delta$ -хвиль.

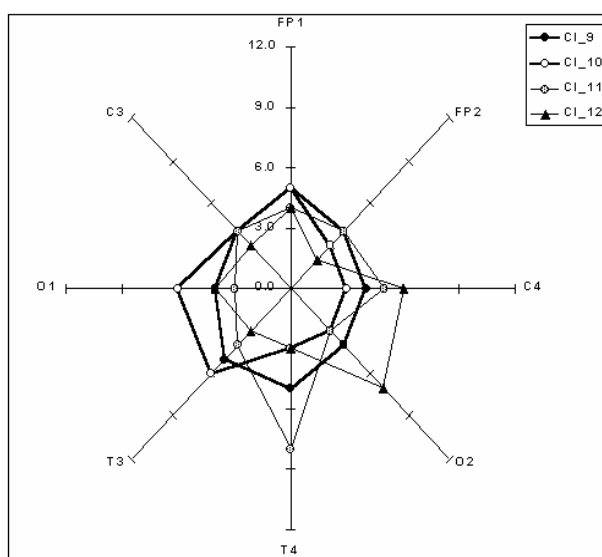
До IV групи віднесені класи C1\_13, C1\_14, C1\_15 з низьким значенням номера кластера по

всіх 8-и відведеннях (середнє значення номера кластера V1–V3). До цієї групи потрапили записи, що характеризуються високою активністю електричного сигналу в зоні діапазону  $\delta$ -хвиль.

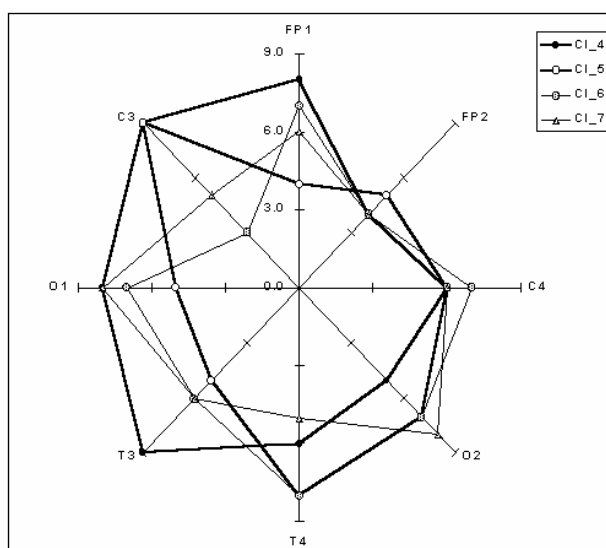
До II групи віднесені класи C1\_4, C1\_5, C1\_6, C1\_7, за характером схожі з класами I групи (середнє значення номера кластера по всіх відведеннях становить V6–V8). Таким чином, до цієї групи потрапили записи, що характеризуються високою активністю електричного сигналу в зоні діапазону  $\alpha$ -хвиль і  $\theta$ -хвиль.



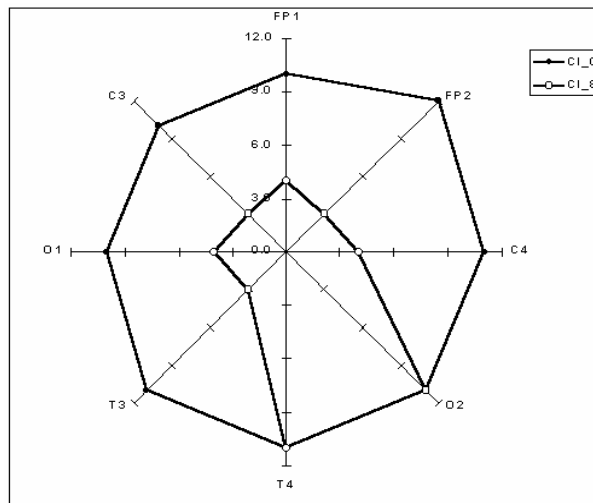
**Мал. 6.** Діаграма розподілу номерів кластерів (V1–V12), до яких належать записи по окремих відведеннях для класів EEG Cl\_1–Cl\_3 і Cl\_13–Cl\_15



**Мал. 7.** Діаграма розподілу номерів кластерів (V1–V12), до яких належать записи по окремих відведеннях для класів EEG Cl\_9–Cl\_12



**Мал. 8.** Діаграма розподілу номерів кластерів (V1–V12), до яких належать записи по окремих відведеннях для класів EEG Cl\_4–Cl\_7



**Мал. 9.** Діаграма розподілу номерів кластерів (V1–V12), до яких належать записи по окремих відведеннях для класів EEG C1\_0–C1\_8

До III групи віднесені C1\_9, C1\_10, C1\_11, C1\_12, за характером схожі з класами IV групи (тут середнє значення номера кластера по всіх відведеннях становить V4–V7). Встановлено, що в цю групу потрапляють записи, які характеризуються високою активністю електричного сигналу в зоні діапазону  $\delta$ -хвиль і  $\theta$ -хвиль.

Окрему групу (V групу) становлять C1\_0 і C1\_8, для яких характерна наявність по відведеннях записів, які належать до кластерів V11 і V12, що свідчить про високу потужність сигналу EEG в діапазоні  $\beta$ -хвиль.

При зіставленні одержаних даних з класифікацією Жирмунської Е.А., Лосева В.С. [6] і спектрально-когерентним аналізом, був класифікований ступінь порушення EEG в групах, одержаних за допомогою нейросітьового аналізу:

I група – норма і легкий ступінь порушення EEG;

II група – помірний і значний ступінь;

III група – значний і грубий ступінь;

IV група – грубий і дуже грубий;

V група представлена патернами з легкими, помірними і значними змінами.

Клас EEG, до якого в рамках моделі був відне-

сений запис EEG, плавно змінювався в процесі прогресування або регресування неврологічної симптоматики, що свідчить про можливість відстеження стану за результатами автоматичної класифікації EEG.

**Висновки.**

1. Одержана в нейросітьовій моделі класифікація EEG є стійкою і надійною для визначення ступеня порушення EEG. Це свідчить про можливість застосування такої класифікації для моніторингу EEG і характеристики стану хворого з порушенням свідомості.

2. При використанні адаптивного кластерного нейросітьового моделювання розроблена класифікація EEG, що відображає ступінь виразності дезорганізації EEG-патернів. Ці дані можуть використовуватися для визначення ступеня тяжкості гострої церебральної недостатності, стану реактивності мозку, ефективності проведеного лікування.

3. Класифікація EEG за допомогою методу нейросітьового моделювання дозволяє надійно визначати ступінь порушення EEG-патерна за п'ятьма рівнями: норма, легкий, помірний, значний, грубий і дуже грубий ступінь порушень.

*Т.В. Островая*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЙРОСЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ И ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЗГА**

Донецкий государственный медицинский университет

Цель данного исследования - создание системы автоматической классификации ЭЭГ с помощью метода математического моделирования – нейронные сети. В качестве объекта классификации были использованы записи ЭЭГ полученные при обследовании 78 добровольцев и 78 больных с неврологическими расстройствами. Была обработана 1851 запись ЭЭГ по 8-и отведениям (всего 14808 объектов) для 158 человек. В основу классификации положено разложение сигнала ЭЭГ в ряд Фурье и последующий анализ спектральной плотности электрических сигналов, зафиксированных в отведениях.

После получения устойчивой картины кластеризации записей ЭЭГ, в окончательном варианте была получена нейросетевая модель, с 16 нейронами в выходном слое, что представлено распределением записей по классам ЭЭГ (Cl<sub>0</sub> ÷ Cl<sub>15</sub>). Анализируя выделенные классы ЭЭГ мы распределили их на 5 групп.

Классификация степени нарушения ЭЭГ:

I группа – норма и легкая степень нарушения ЭЭГ (Cl 1, Cl 2, Cl 3);

II группа – умеренная и значительная степень (Cl 4, Cl 5, Cl 6, Cl 7);

III группа – значительная и грубая степень (Cl 9, Cl 10, Cl 11, Cl 12);

IV группа – грубая и очень грубая (Cl 13, Cl 14, Cl 15);

V группа представлена паттернами с легкими, умеренными и значительными изменениями (Cl 0, Cl 8).

Полученная в нейросетевой модели классификация ЭЭГ является устойчивой и надежной для определения степени нарушения ЭЭГ. Это свидетельствует о возможности применения данной классификации для мониторинга ЭЭГ и характеристики состояния больного с нарушением сознания. (Журнал психиатрии и медицинской психологии. — 2004. — № 2 (12). — С.27-34)

*T.V. Ostrovaya*

## **APPLICATION THE METHOD OF NEURO-NET MODELING FOR CLASSIFICATION OF EEG PATTERNS AND BRAIN FUNCTIONAL ASSESSMENT**

Donetsk state medical University

The article devoted to the problem of sophisticating of functional state of brain diagnostic based on development of diagnostic algorithm of EEG assessment in normal condition and in unproductive forms of unconsciousness.

158 patients of both genders were included in the study (78 patients with normal condition of brain and 78 – with some forms of unconsciousness). Standard neurological status and dynamic of EEG patterns were analyzed. By means of method of topographic mapping EEG and the method of neuro-net modeling for classification of EEG was developed.

Initially the method of neuro-net modeling for classification of EEG patterns and brain functional assessment was used. The classification of EEG, which was obtained in neuro-net model, included five groups, allows classification of EEG deterioration in automatic mode. (The Journal of Psychiatry and Medical Psychology. — 2004. — № 2 (12). — P.27-34)

### *Література*

1. Ежов А., Чечеткин В. Нейронные сети в медицине // Открытые системы, 1997. - № 4. - С.34-37.

2. Краткое руководство по SNN, «Нейронные сети» STATISTICA. - StatSoft Russia, 1998. - 355 с.

3. Нейротравматология / Под ред. А.Н. Коновалова, Л.Б. Лихтермана, А.А. Потапова. - М.: ИПЦ Вазар-Ферро, 1994. - 415 с.

4. Острова Т.В. Діагностичний алгоритм оцінки електричної активності мозку людини у нормі і при деяких формах розладів свідомості – Автореф дис. канд. мед. наук: 14.03.03 / Донецкий

держ.мед.ун-т. – Донецьк, 2002. – 20с

5. Триумфов А.В. Топическая диагностика заболеваний нервной системы. - М.: ООО «МЕДпред», 1998. - 298 с.

6. Черный В.И. Постгипоксическая энцефалопатия. - К.: Здоров'я, 1997. - 336с.

7. Safar P. Ameloration of post-ischemic brain damage with barbiturates // Stroke. – 1980. – Vol. 11, № 5, – P. 565–568.

8. Safar P. Cardiopulmonary Cerebral Resuscitation. - Stavanger, Norway: Publ. print A.S. Laerdal, 1981. - 256 p.

Поступила в редакцию 3.07.2004