

АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Роботу присвячено дослідженню засад електроенцефалографії як діагностичної процедури, способі фіксації відведень та аналізу результатів електроенцефалографії, детальному вивченню амплітудно-частотного розподілу базових ритмів процедури.

Ключові слова: електроенцефалографія, електрична активність мозку, відведення, ритм хвилі, амплітудно-частотний розподіл.

Abstract

The work is dedicated to the study of the principles of electroencephalography as the diagnostic procedure, the method of leads recording and analyzing the results of the electroencephalography, and a detailed study of the amplitude-frequency distribution of basic rhythms of procedure.

Keywords: electroencephalography, electrical activity of the brain, leads, wave rhythm, amplitude-frequency distribution.

Вступ

Електроенцефалографія (ЕЕГ) – дослідження повної електричної активності мозку шляхом графічної реєстрації його біопотенціалів [4]. Електрична активність головного мозку буває спонтанна (періодична) або наведена (неперіодична). Застосування ЕЕГ дозволяє виявити зміни функціональної активності мозку, осередкові та генералізовані порушення, а також патологічні ритми, характерні для різних неврологічних станів.

Метою дослідження є дослідження засад діагностичної процедури ЕЕГ.

Результати дослідження

Для ЕЕГ використовують два типи електродів – поверхневі та підшкірні [4]. Ці електроди, в основному, виготовляють з Аргентуму, їхній діаметр перебуває у межах 7 – 10 мм. Нормальні показники, зняті електроенцефалографом, зображено на рис. 1

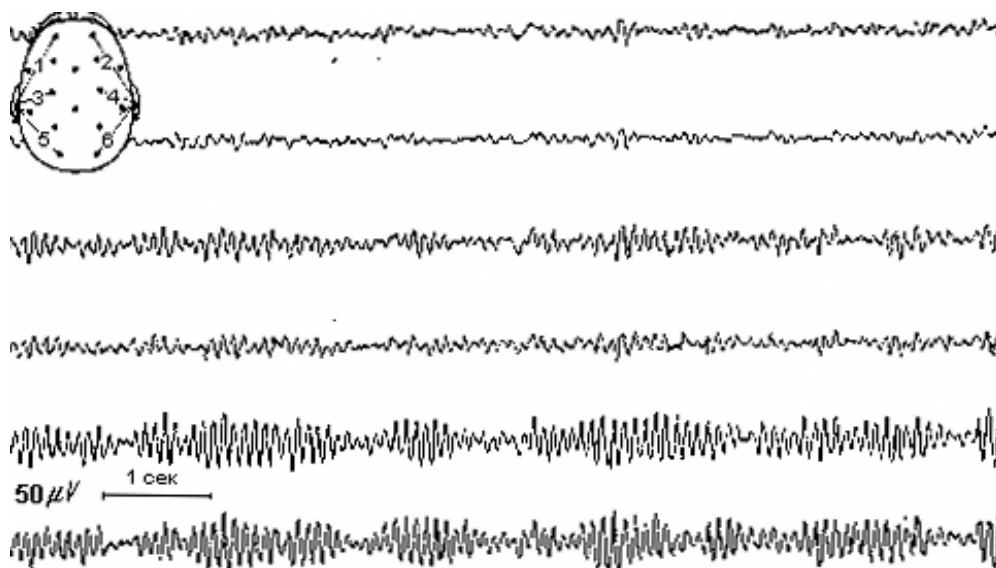


Рис. 1. Нормальні показники ЕЕГ [1]

Одним із ключових етапів ЕЕГ є фіксація окремих електродів на голові пацієнта за допомогою ремінців, яка відбувається за міжнародно затвердженою системою «10/20» [2]. Зміст системи полягає

у тому, що відстані від двох крайніх точок у поздовжній та поперечній лініях ділять на сегменти у 10% або 20%. Тоді, непарні номери електродів (чорні) розміщують у лівій півкулі головного мозку, а парні (білі) – у правій. На рис. 2. наведено схему ЕЕГ-відведень із позначенням місцезнаходження певних електродів.

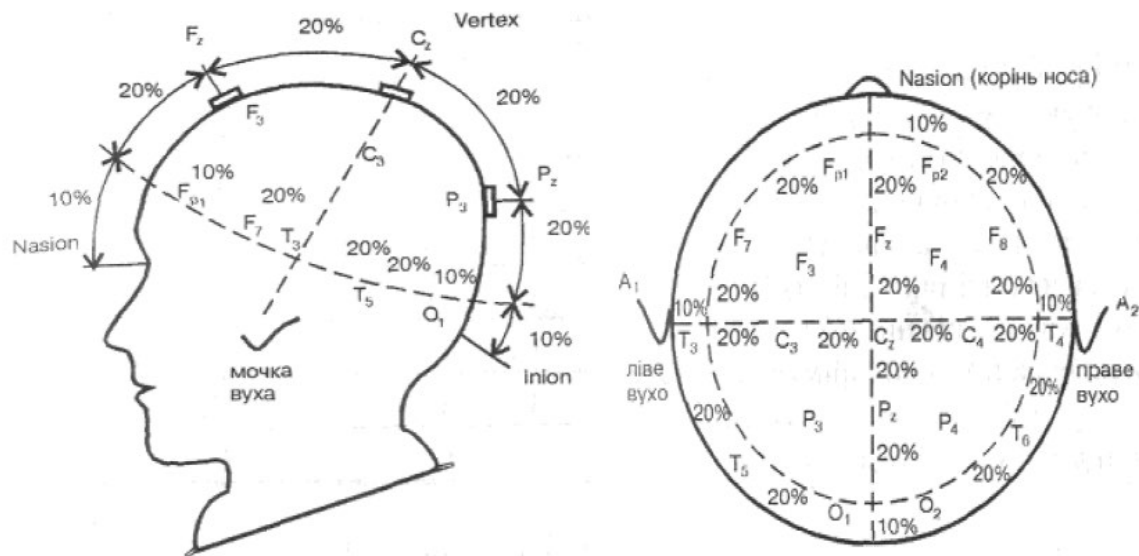


Рис. 2. Схема ЕЕГ-відведень із позначенням місцезнаходження певних електродів:

F – фронтальна, F_p – протофронтальна, C – центральна, P – тім'яна, O – потилична області головного мозку [1]

Існує низка комбінацій необхідних для ЕЕГ електродів за системою «10/20»: комбінація з трьома, семи, восьми та дев'ятьма каналами. У табл. 1 представлено комбінацію із сімома каналами для різних вікових груп.

Табл. 1 – Семиканальна комбінація електродів для ЕЕГ для різних вікових груп

Канал	Немовлята (до 3 місяців)	Дошкільний та шкільний вік (особи до 16 років)	Зрілі особи (особи від 16 років)
1	$C_3 - P_3$	$C_3 - O_1$	$F_3 - P_3$
2	$O_1 - T_3$	$T_5 - T_3$	$T_5 - T_3$
3	$T_5 - F_{P_3}$	$T_3 - F_7$	$T_3 - F_7$
4	$F_z - P_z$	$F_7 - F_8$	$F_7 - F_8$
5	$F_{P_4} - T_4$	$F_8 - T_4$	$F_8 - T_4$
6	$T_4 - O_2$	$T_4 - T_6$	$T_4 - T_6$
7	$P_4 - C_4$	$O_2 - C_4$	$P_4 - F_4$

Кожне з відведень дає на виході ритмічну або аритмічну хвилю (активність ЕЕГ). Хвиля складається або з однієї гармонічної складової (синусоподібна ЕЕГ-активність) або з декількох гармонічних складових, з-поміж яких вирізняється одна домінуюча (мономорфна ЕЕГ-активність).

Підґрунтям для аналізу хвиль ЕЕГ є їхня частота (ритм хвилі), яку позначають грецькими літерами, а також амплітуда хвиль. У табл. 2 подано класифікацію хвиль ЕЕГ за ритмом.

Табл. 2 – Класифікація хвиль ЕЕГ за ритмом

Вид	Амплітуда	Частота	Тривалість
Альфа-ритм (α)	100 мкВ	8 – 12 Гц	2 – 8 с
Бета-ритм (β)	> 30 – 40 мкВ	13 – 32 Гц	1 с

Гамма-ритм (γ)	5 – 7 мкВ	40 – 70 Гц	1 с
Тета-ритм (θ)	40 мкВ	4 – 6 Гц	4 – 4,5 с
Дельта-ритм (δ)	> 40 мкВ	0,5 – 3 Гц	4 с
Мю-ритм (μ)	50 мкВ	8 – 13 Гц	2 – 8 с
Гостра хвиля	> 40 – 50 мкВ	8 – 16 Гц	> 50 мс
«Пік»-хвиля	50 – 100 мкВ	2,5 – 6 Гц	160 – 250 мс

Альфа-ритм досягає свого максимального значення у стані спокою, проявляючись над задніми областями мозкових півкуль. Характерною особливістю альфа-ритму є те, що він згасає за посилення зорової та психічної активності. Розкриття пацієнтом очей та подальший огляд ним навколишнього середовища під час ЕЕГ призводить до затухання альфа-ритму. Цікавим є той факт, що головний мозок незрячих від народження людей ніколи не проявляє альфа-ритму. На рис. 3.1. показано нормальний альфа-ритм.



Рис. 3.1. Нормальний альфа-ритм [3]

Бета-ритм досягає свого максимального значення під час розумової та сенсорної (аналітичної) активності, проявляючись над передніми частинами черепа. Прояви неспокою (гнів, роздратування, нервові збудження) посилюють бета-ритм. На рис. 3.2. нижче показано нормальний бета-ритм.



Рис. 3.2. Нормальний бета-ритм [3]

Гамма-ритм досягає свого максимального значення під час аналітичної роботи, в основному, під час спостереження (активної роботи аналізаторів). На рис. 3.3. нижче показано нормальний гамма-ритм.



Рис. 3.3. Нормальний гамма-ритм [3]

Тета-ритм досягає свого максимального значення під час внутрішнього нервового збудження, пов'язаного з процесом згадування чи фантазування. Саме тому тета-ритм активно проявляється на ранніх стадіях сну. На рис. 3.4. показано нормальний тета-ритм.



Рис. 3.4. Нормальний тета-ритм [3]

Дельта-ритм досягає свого максимального значення під час сну або гіпнозу. У випадку, коли у дорослого пацієнта, який не спить, фіксують дельта-ритм (особливо, яскраво виражений), це свідчить про патологію головного мозку. На рис. 3.5. нижче показано нормальний дельта-ритм.



Рис. 3.5. Нормальний дельта-ритм [3]

Мю-ритм ритм досягає свого максимального значення за фізичного та нервового спокою, є субгармонікою бета-ритму. Трапляється нечасто, активний прояв мю-ритму є ознакою патології.

У випадку, коли головний мозок пацієнта має ушкодження, на графіку ЕЕГ трапляється лямбда-хвиля, що триває близько 100 мс та має гостру форму. За відсутності патологій, її виникнення пов'язано зі зосередженням зору пацієнтом під час зняття показників ЕЕГ. Якщо ж зміна сигналу ЕЕГ має трошки меншу тривалість (до 80 мс), то його звать «піком», або ж «спайкою», характеризують за частотою появи на ЕЕГ.

Амплітудно-частотний розподіл базових ритмів ЕЕГ, який описує спектральні характеристики електричної активності головного мозку, наведено нижче.

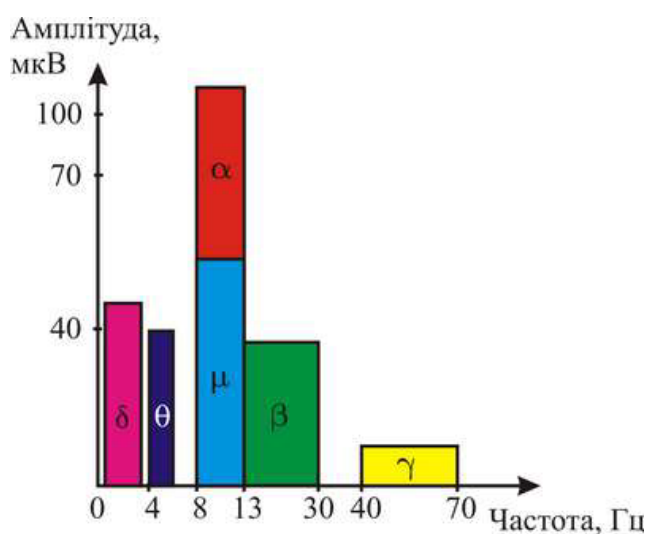


Рис. 4. Амплітудно-частотний розподіл базових ритмів ЕЕГ: α - альфа-ритм, β - бета-ритм, γ - гамма-ритм, θ - тета-ритм, δ - дельта-ритм, μ - мю-ритм [1]

З рис. 4 випливає, що найбільше значення напруги спостерігається в α -ритмі, тоді як γ -ритм характеризується мінімальною з-поміж виміряних амплітудою коливань. З іншого боку, цей же γ -ритм є найбільш високочастотним, а δ -ритм фіксується на найменших частотах. Подібна характеристика γ -ритму підтверджує фізичний принцип оберненої залежності між частотою хвилі та її амплітудою.

Висновок

Отже, у роботі було узагальнено фізичні основи електроенцефалографії як діагностичної процедури реєстрації електричної активності головного мозку. Розглянуто механізми виникнення біопотенціалів, принципи формування ЕЕГ-сигналів, структурні особливості системи відведень. Проаналізовано амплітудно-частотні характеристики основних ритмів ЕЕГ та їхній зміст. Зокрема, детально описано природу та характеристику альфа-, бета-, гамма-, тета-, дельта- та мю-ритмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аврунін О. Г., Семенець В. В., Абакумов В. Г., Готра З. Ю., Злепко С. М., Кіпенський А. В., Павлов С. В. Основи реєстрації та аналізу біосигналів : навчальний посібник. Харків : Харківський національний університет радіоелектроніки, 2019. 399 с.
2. Jasper H. H. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1958.
3. Models of Consciousness. URL: <https://www.neuroenergetics.com/resources/models-of-consciousness> (дата звернення: 10.12.2025)

4. Schomer D. L., Lopes da Silva F. H. Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. 7th ed. Oxford : Oxford University Press, 2018. 1263 p.

Гончар Богдан Віталійович – студент групи БМІ-226, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: bogdgonchar@gmail.com

Науковий керівник – Тимчик Сергій Васильович, канд. тех. наук, декан факультету інформаційних електронних систем, доцент кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: tymchyk@vntu.edu.ua

Bohdan Honchar – student of Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bogdgonchar@gmail.com

Supervisor – Serhiy Tymchyk, PhD (Biomedical Engineering), Dean of the Faculty of Information Electronic Systems, Associate Professor of the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronics, Vinnytsia National Technical University, e-mail: tymchyk@vntu.edu.ua