

DOI 10.36074/logos-18.08.2023.77

ЛІКУВАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІОЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Микитенко Роман Васильович

майор м/с, начальник відділення психоневрологічної реабілітації
Старокостянтинівський військовий госпіталь

Грищенкова Ольга Сергіївна

капітан м/с, старший ординатор відділення психоневрологічної реабілітації
Старокостянтинівський військовий госпіталь

Івановська Оксана Анатоліївна

капітан м/с, ординатор відділення психоневрологічної реабілітації
Старокостянтинівський військовий госпіталь

Южека Віталій Анатолійович

капітан м/с, старший ординатор хірургічного відділення
Старокостянтинівський військовий госпіталь

Косолапов Олександр Петрович

працівник ЗС України, лікар-фізіотерапевт
відділення психоневрологічної реабілітації
Старокостянтинівський військовий госпіталь

Золоторьов Павло Валерійович

працівник ЗС України, лікар-психіатр психіатричного відділення
Старокостянтинівський військовий госпіталь

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

Комаровський Максим Сергійович

майор м/с, заступник начальника госпіталю з медичної частини – начальник
медичної частини
Старокостянтинівський військовий госпіталь

УКРАЇНА

Актуальність. Дослідження біоелектричної активності (БЕА) головного мозку з допомогою електроенцефалографії (ЕЕГ) дає змогу проаналізувати з дуже високою роздільною здатністю зміни у функціонуванні його кори та глибинних структур, а також їх реакцію на подразники. ЕЕГ уможливорює своєчасну діагностику епілептичної хвороби; диференціацію пароксизмальних розладів: екзогенних – в тому числі, постконтузійних, від психогенних – внаслідок бойового стресу; та належну оцінку реабілітаційного потенціалу на вищих рівнях медико-психологічної допомоги та психоневрологічної реабілітації. Тому даний метод винятково цінний для клінічної медицини, зокрема – військової психіатрії, неврології та нейрохірургії.

Звіт по ЕЕГ повинен бути не лише повним та об'єктивним, але й складеним таким загальноприйнятим чином, щоб будь-який лікар міг зробити висновок щодо нормальності чи ступеню аномальності запису по одному опису. При цьому спеціаліст по ЕЕГ (нейрофізіолог або функціональний діагност) має виключно констатувати наявність або відсутність порушень БЕА та описати їх, а не ставити діагноз. В свою чергу клініцисту необхідно всебічно обстежити пацієнта, для діагностування ЕЕГ залишається тільки допоміжним інструментальним методом. Саме тому бажано, щоб психіатри, неврологи та нейрохірурги володіли біофізичними та нейрофізіологічними знаннями, необхідними для якомога точнішої інтерпретації ЕЕГ в своїй практиці.

Мета роботи полягає в узагальненні ряду біофізичних характеристик БЕА головного мозку, та висвітленні їх взаємозв'язку з клінікою. Обізнаність лікарів психоневрологічного та нейрохірургічного профілю із теоретичними основами ЕЕГ дозволить вдосконалити застосування даного методу обстеження.

Матеріали і методи. Проведено огляд та аналіз медичної літератури та електронних джерел інформації, з переважанням ілюстративного матеріалу.

Основні результати. БЕА – складний коливальний процес, близький до сукупності гармонійних коливань. Тому її основними характеристиками є частота, фаза й амплітуда. Однак існують інші важливі властивості БЕА, що мають практичне значення. Усі характеристики БЕА можна згрупувати так:

- 1) Частота (хвиль або їх комплексів).
- 2) Амплітуда (вольтаж).
- 3) Форма хвиль.
- 4) Регулярність (хвиль або комплексів).
- 5) Їх повторюваність.
- 6) Характер появи.
- 7) Стійкість ЕЕГ активності.
- 8) Розподіл (локалізація) патернів ЕЕГ.
- 9) Міжпівкульне порівняння хвиль в гомологічних ділянках: фазове співвідношення і час появи (синхронізація).
- 10) Реактивність БЕА [1, 2].

Електромагнітні хвиль БЕА неможливо побачити візуально, але їх форму (синоніми – морфологія форми сигналу або конфігурація), тобто – зовнішній вигляд, можна абстрактно уявити як графік, що змінюється в часі і просторі. Якщо активність з 2-х або більшої кількості хвиль певної форми зберігає свою морфологію при повторенні, її називають хвильовим комплексом.

Регулярність – властивість, притаманна для хвилі або їх комплексу, що з'являються приблизно з постійним періодом та мають наближено однакову форму. Повторюваність коливального процесу, крім такої особливості, як частота, характеризують періодом (циклом) – тривалістю інтервалу між початком і кінцем поодинокі хвилі, або їх комплексу.

Перефразувавши вищенаведене, хвилі, для яких притаманний ритмічний хід, тобто періодична повторюваність, та однакова проста геометрична форма, називають регулярними; синонім – моноритмічні або мономорфні, але терміни не є загальноновживаними, тому не рекомендуються до використання.

Приклади основних видів форм таких хвиль зображені на рис. 1: синусоїдальна – така форма відносно інших нижченаведених зустрічається

найчастіше та має особливе клінічне значення, наприклад до неї близький α -ритм (рис. 2); прямокутні, синонім – меандр; трикутні; пилкоподібні.

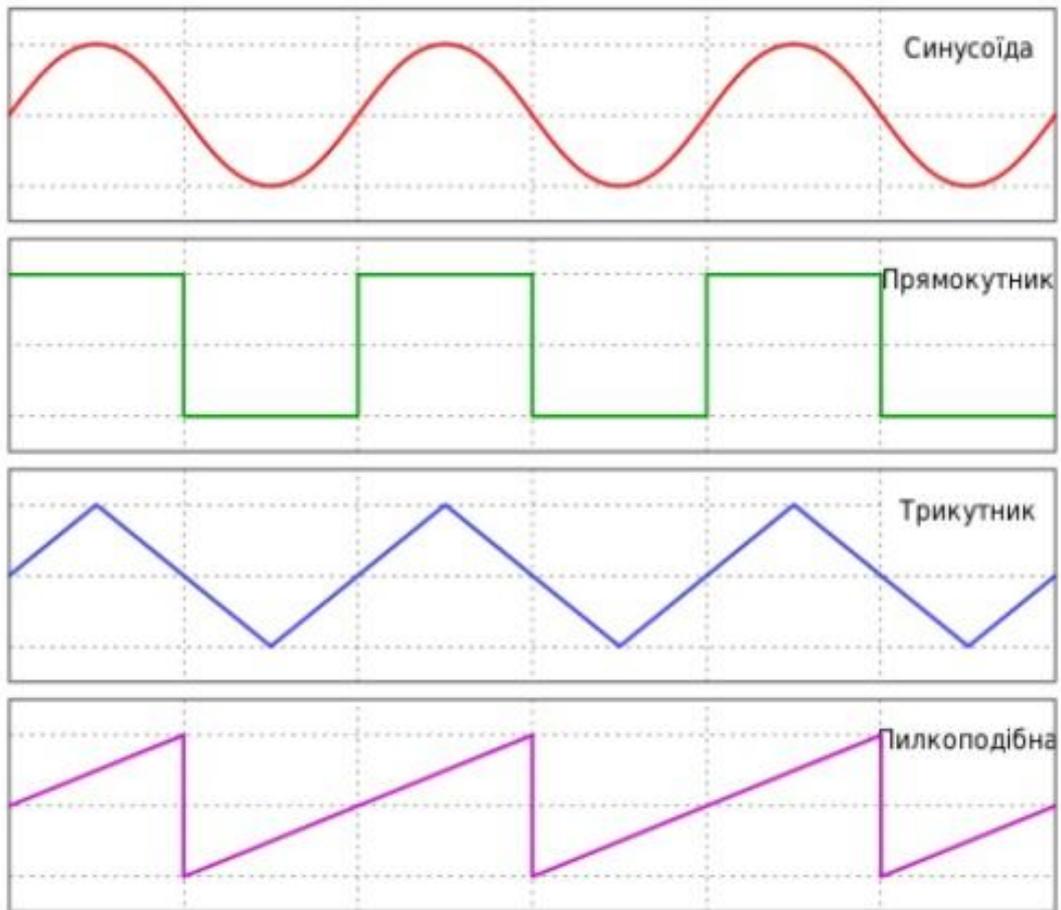


Рис. 1. Синусоїда, прямокутна, трикутна та пилкоподібна хвилі (графік із Вікісховища, ліцензія CC BY-SA 3.0 [3])

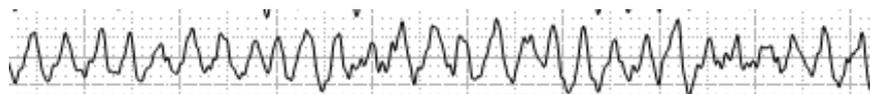


Рис. 2. α -активність форми, близької до синусоїдальної (власна робота)

Можливі інші подібні види: трапецієподібні, дугоподібні (інша назва – аркоподібні) тощо (рис. 3).

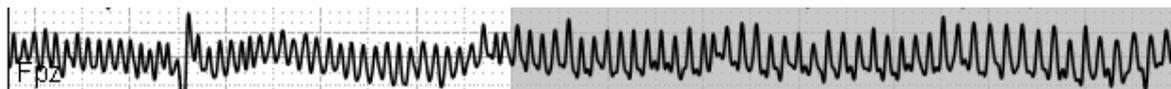


Рис. 3. β -активність пікоподібної форми як дебют фотоміоклонічної відповіді у пацієнта з епілепсією (власна робота)

Групи ритмічних повторюваних хвиль, амплітуда яких поступово збільшується, а потім – зменшуються (тобто відбувається їх модуляція), називаються *веретенами* (на рис. 4 та рис. 5 їх приклади – веретена α -ритму та т. з. сонні веретена відповідно).

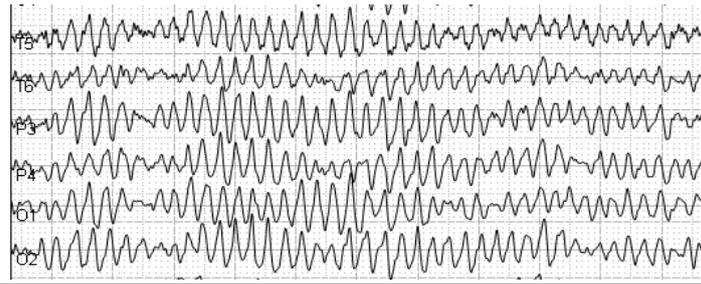


Рис. 4. Веретена синусоїдальної форми α -активності. Помітно їх аномальну, різко підвищену амплітуду: ЕЕГ зареєстрована у пацієнта 36 років у підгострий період контузії головного мозку (власна робота)



Рис. 5. Схематичне зображення одного з варіантів веретеноподібних хвиль – т. з. сонних веретен (на основі схеми із Вікісховища, ліцензованої як суспільне надбання)

Хвилі, що повторюються неперіодично зі змінними нерегулярними інтервалами, тобто хід яких постійно змінюється, та мають різні складні асиметричні окремі форми, називаються *нерегулярними*, поліритмічними або поліморфними (як і вище, 2 останніх терміни не рекомендуються) (рис. 6).

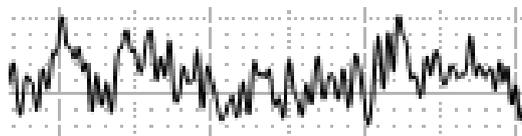


Рис. 6. Нерегулярний δ -ритм (власна робота)

Напівритмічні повторювані хвилі складаються як із однакових за морфологією повторюваних форм, так і з суміші складних по формі та при цьому – нерегулярних.

Щодо характеру появи, ЕЕГ активність може спостерігатися постійно, періодично повторюватися, виникати епізодично, при стимуляції тощо. Нерегулярне та нечасте явище називається *спорадичним*.

Стійкість ЕЕГ активності, тобто наскільки часто виникає певний її патерн, можна оцінити за допомогою такого відносного показника, як індекс. Найчастіше мається на увазі індекс за часом (представленість), що вимірюється у відсотках (%) часу, протягом якого виражена дана активність на певному відрізку кривої, відносно всього часу реєстрації ЕЕГ (у таблиці 1 представлено фрагмент опису зареєстрованої ЕЕГ з відображенням індексом ритму). Оптимальний індекс за часом α -активності 75–95%; β -активності – до 100% в лобних відділах; для повільнохвильової – не бажане перевищення 15%.

Таблиця 1

Приклад індексу ритму за часом різних видів активності у пацієнта віком 70 років (в даному випадку – норма)

Параметри	Фонова проба							
	δ		θ		α		β	
	знач.	% норм.	знач.	% норм.	знач.	% норм.	знач.	% норм.
Індекс ритму, %	5,2		3,8		83,0		91,0	

(із власної роботи).

Можливий варіант розрахунку *індексу за потужністю спектру* (перетворення Фур'є) – відношення площі під графіком потужності спектру заданого частотного діапазону до загальної площі всього графіку спектру смуги пропускання. Також індекс можна розрахувати, як *відношення кількості хвиль заданого діапазону до їх загальної кількості* на ЕЕГ. Опис ЕЕГ вище за даним параметром виглядає так: «Виявлено поліритмічну активність зі складовими α -ритму 39,0%, δ -ритму 34,0%, θ -ритму 18,0%, β -ритму 8,5%».

Розподіл (локалізація) – особливості появи однорідних феноменів БЕА, тобто патернів ЕЕГ, зареєстрованих електродами, що розташовані на різних частинах голови. Згідно класифікації локалізації патернів ЕЕГ Ганса Людерса, представлені у адаптованій формі, можна виділити наступні види їх розподілу [4]: 1. *Фокальний* – зона (*фокус* або *вогнище*), у якій представлена певна активність, обмежена 1-ю невеликою за площею ділянкою скальпу, кори головного мозку або його глибинних структур. Якщо сусідні електроди реєструють аналогічну активність, але із меншою амплітудою, фокальний розподіл треба диференціювати із більш широким видом. Це особливо важливо в разі виявлення аномальних повільних і гострих хвиль. Однак фокальні повільні хвилі у ділянці максимальної амплітуди мають нижчу частоту, та у ній в меншій мірі присутня α - і β -активність, тоді як у випадку дифузного розподілу – їх частота буде вищою, та вони нерегулярно чергуюватимуться з α - і β -хвилями. Фокальні гострі хвилі з тенденцією до генералізації можна відрізнити від власне генералізованих гострих хвиль із локальним максимумом посилення за їх більшою представленістю у фокусі. Фокальна активність майже завжди патологічна, крім активності із фокуса середньої лінії або двох фокусів, розташованих симетрично у двох півкулях – тоді вона може бути варіантом норми. 2. *Мультифокальний* – існує 3 (за О. Р. Зенковим – дві [5]) або більше анатомічно різні ділянки, що генерують певний патерн, симетрично або асиметрично. 3. *Регіональний*, або *дольовий* – активність у зоні анатомічної долі мозку (3 і більше відведень). 4. *Мультирегіональний* – активність в області більше 1-ї долі. 5. *Латералізований*. У цьому випадку можливі два варіанти. В одному із них патерн представлений фокально (мультифокально), регіонально або півкульно з *однобічним* полюсом (*моно-* або *уніполярно*), іншими словами – на правому або лівому боці голови. В другому активність буде *білатеральною* (двобічною), але з вираженою асиметрією на одній половині голови. В більшості випадків така латералізація є ознакою патології. Винятком є такі як феномени, як «вертексні хвилі» або σ -ритм (сигма-ритм) із «сонними веретенами». 6. *Нелатералізований*, або біполярно незалежний – 2 незалежних асинхронних локуси (ділянки) активності в обох півкулях. 7. *Генералізований* – БЕА, що спостерігається одночасно на більшій частині або всій площі реєстрації. Така активність має вигляд білатеральних (двобічних), бісинхронних та симетричних патернів. 8. *Неуточнений*. Локалізацію описують за назвою електродів згідно ЕЕГ-семіотики, а не за анатомією ділянки.

Варто наголосити, що фокальну епілептиформну активність не можна автоматично ототожнювати з фокальними судомними нападами: лише її реєстрація не може бути підставою для даного діагнозу без належного клінічного аналізу. Розподіл за локалізацією патернів ЕЕГ зображено на рис. 7.

Фаза – кількісна характеристика коливання, що визначає відмінність між 2 подібними коливаннями, які починаються в різний час. Вона визначає поточний стан процесу і вказує напрямком вектору його змін. В електротехніці *фаза коливання* – аргумент, тобто – змінна величина, синусоїдальної функції

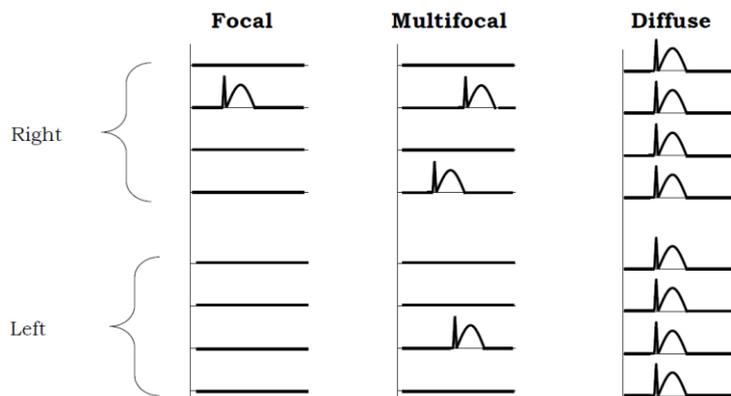


Рис. 7. Зліва направо: фокальний, мультифокальний та генералізований розподіл (принципова схема за О. Мікареллі, 2019 [6])

(напруги, струму), що відраховується від точки переходу значення через нуль до додатного. Для опису ЕЕГ активності важливе поняття фазового співвідношення (відповідності). Різниця між початковими фазами 2-х змінних величин, що змінюються в часі періодично та з однаковою частотою, називається *зсувом фаз*. Його вимірюють в градусах ($^{\circ}$), радіанах (rad) або частках періоду, та можна виразити через фазовий кут (рис. 8). Наприклад піки, що вказують у протилежних напрямках, зміщені на 180° . Якщо коливальні процеси відбуваються одночасно, у випадку ЕЕГ – хвилі виникають в різних відведеннях та при цьому їх спади й піки досягають максимуму в один і той самий момент часу, то вони *перебувають у фазі (синфазні)*, а зсув фази між ними відсутній. Якщо максимум одного колювання збігається з мінімумом іншого – колювання *перебувають у протифазі (протифазні)*.

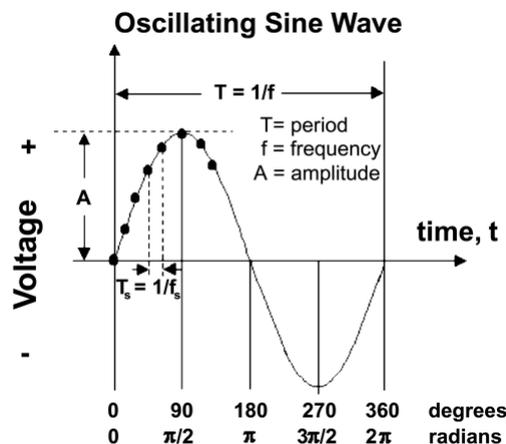


Рис. 8. Схематичне зображення 1-го періоду (циклу) синусоїдальної функції, де T = період, f = частота, A = амплітуда, t = час (схема із Вікісховища, ліцензована як суспільне надбання)

Щодо часу появи варто відмітити наступне. Якщо хвилі з'являються в різних ділянках голови практично в однаковий час, має місце *синхронія / синхронність* (колювання *синхронні* або *одночасні*). Поняття синонімічні не повністю. Термін «синхронний» застосовують для позначення фазової відповідності хвиль, близької до точної. «Одночасний» – лише відсутність видимої затримки між подіями, які реєструють аналогові технічно застарілі

перові реєстратори при прийнятних швидкостях паперу, зі значно меншою роздільною здатністю. Належно оцінити фазове співвідношення патернів ЕЕГ можна тільки цифровими методами. Активність, що виникає синхронно та синфазно в симетричних (гомоторних) відділах обох півкуль, називають *білатерально синхронною (бісинхронною)*. Протилежним поняттям є *асинхронія* або *асинхронність* – неодночасне виникнення ЕЕГ активності в різних областях голови. Асинхронність – результат трансинаптичної передачі, при синхронності коливань хвиля поширюється за рахунок об'ємної провідності головного мозку. Патерни ЕЕГ, що реєструються в одній ділянці в один час, а в інших областях – в іншій, вважаються *незалежними*.

Останньою характеристикою БЕА розглянемо *реактивність* – чутливість окремих ритмів чи активності в цілому до *активації* різними фізіологічними впливами. Для клініки значиме відслідковування динаміки нормальної або патологічної ЕЕГ активності, для чого проводяться такі процедури, як *функціональні* (синоніми – навантажувальні, провокаційні) *проби*. Загальноприйнятою та одною із основних є *реакція активації*, узагальнений та спрощений принцип якої, в нормі полягає в ослабленні α -ритму та появі низькоамплітудної високочастотної активності при розплющуванні очей. Існує багато інших їх варіантів. У пацієнтів у комі повна ареактивність – майже завжди злоякісна прогностична ознака для виживання.

Висновки і пропозиції. До характеристик БЕА, на які спирається опис ЕЕГ, є частота, амплітуда, форма хвиль, регулярність, повторюваність, характер появи, стійкість, розподіл, міжпівкульне порівняння хвиль в гомологічних ділянках: фазове співвідношення і час появи, реактивність. Поглиблення теоретичних знань щодо БЕА дасть змогу більш широко застосовувати такий цінний метод обстеження як ЕЕГ, у тому числі у військовій медицині.

Список використаних джерел:

- [1] Літовченко, Т. А. & Сухоносова, О. Ю. (2019). *Електроенцефалографія при епілепсії та інших захворюваннях нервової системи у дорослих та дітей*. Харків: Харківська медична академія післядипломної освіти.
- [2] Мухин, К. Ю., Петрухин А. С. & Глухова, Л. Ю. (2004). *Эпилепсия: атлас электро-клинической диагностики*. Москва: Альварес Паблшинг.
- [3] User:Omegatron (2006). File:Waveforms.svg. *Wikimedia Commons*. Retrieved from <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waveforms.svg>
- [4] Клинический анализ ЭЭГ. *CMI Brain Research* (2021). Извлечено из <https://cmi.to/методы-анализа-ээг/клинический-анализ-ээг/>
- [5] Зенков, Л. Р. (2004). *Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии)*. Москва: МЕДпресс-информ.
- [6] Mecarelli, O. (2019). Normal awake EEG patterns. *Società Italiana di Neurofisiologia Clinica*. Retrieved from [https://www.sinc-italia.it/FCKFiles/Mecarelli_Normal_awake_EEG_patterns\(1\).pdf](https://www.sinc-italia.it/FCKFiles/Mecarelli_Normal_awake_EEG_patterns(1).pdf)