

УДК 57.087.1

Шкуропат А.В.¹, Дишлик В.М.²

ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЯ: ІСТОРІЯ МЕТОДУ

¹Херсонський державний університет

²Херсонська багатoproфільна гімназія № 20 імені Бориса Лавренюва
e-mail: robotadoma2013@gmail.com

На сьогоднішній день метод електроенцефалографії є одним з провідним методом клінічного дослідження функціонального стану головного мозку. Проте, становлення її як методу неможливо було би без таких методичних прийомів, як вимірювання кількості електрики, яка дозволила Дюбуа-Реймону назавжди припинити спори навколо евристичної теорії біоелектрогенеза Гальвані. Створення та удосконалення гальванометрів дозволило першовідкривачам електричної активності мозку (Кетону, Данілевському, Правдич-Немирському, Бергеру) зробити перші записи та заснувати першу класифікацію (Бергер) ритмів ЕЕГ. Розвиток комп'ютерної техніки та методів комп'ютерної обробки призвело до бурхливого розвитку методу ЕЕГ. Проте, сьогодні існуючі підходи у ЕЕГ не приносять бажаних результатів та не дозволяють викрити інтимні механізми генерації ЕЕГ. Можливо, створення нових підходів та методичних прийомів дозволять подолати цю проблему та виявити джерела генерації ритмів ЕЕГ.

Ключові слова: електроенцефалографія, дослідження головного мозку, нейрофізіологія, електрогенез, Уолтер, Бергер.

На сьогоднішній день метод електроенцефалографії є одним з провідним методом клінічного дослідження функціонального стану головного мозку. Проте, становлення її як методу та розуміння основ неможливо було би без багатьох наукових надбань та геніїв вчених різних часів. Створення та удосконалення гальванометрів дозволило першовідкривачам електричної активності мозку (Кетону, Данілевському, Правдич-Немирському, Бергеру) зробити перші записи та заснувати першу класифікацію (Бергер) ритмів ЕЕГ. Розвиток комп'ютерної техніки та методів комп'ютерної обробки призвело до бурхливого розвитку методу ЕЕГ. Проте, сьогодні існуючі підходи у ЕЕГ не приносять бажаних результатів та не дозволяють викрити інтимні механізми генерації ЕЕГ. Можливо, створення нових підходів та методичних прийомів дозволять подолати цю проблему та виявити джерела генерації ритмів ЕЕГ.

Витоки електроенцефалографії та ранні етапи розвитку електроенцефалограми. Становлення електроенцефалографії як клінічного методу оцінки функціонального стану головного мозку важко розглядати окремо від наукового прогресу в цілому та розвитку електрофізіології вчасності.

Важко виділити окрему подію, яка призвела до думки про реєстрацію електричної активності. Ще у 1743 році Христіаном Августом Гаузенем була висловлена думка, що нервова сила дорівнює електричній. Тієї ж думки були й його послідовники – де-Соваж, des Hais, Laghi. Але цю думку приймають не всі науковці – Галляр і Фонтана (працювали у 18 столітті) намагалися спростувати таке зрівняння, хоча допускали існування тваринного Духа у нервах [1, 2, 4. 10].

Поверненням у фізіологічну науку тваринна електрика завдячує дослідям Луїджі Гальвані [10]. У 1790 році, проводячи досліди у своїй лабораторії разом з дружиною Люцією Гальвані над препаратом жаб'ячих лап, він звернув увагу, що при доторканні до лапок металевими інструментами у той час, коли на електрофорній машині з'являється іскра, лапки скорочуються. Хоча на той момент вже було відома дія електричного струму на м'язи, факт скорочення лапок на відстані від кондуктора електрофорної машини, дуже схвилював дослідника. З цього часу Гальвані починає проводити досліди над скороченням м'язів у різних умовах. Результатом його роботи стає відкриття явища скорочення м'яза без застосування металевих провідників, таким чином це доводило існування тваринної електрики.

Практично до середини XIX століття вивчення мозку носило анатомічний характер, а висновок про деякі його функції робився уможлядно спостерігаючи за деякими хворобами. Мозок не розглядався субстратом для психофізіологічних функцій і свідомості взагалі.

У 40-х роках XIX століття німецький фізіолог Еміль Генрих Дюбуа-Реймон, досліджуючи дію електричного струму на нерви, остаточно довів існування тваринної електрики. Своім трудом «Попередній очерк дослідження о так званих електричних явищах у живих організмах» (1843 р.) він поклав початок сучасній електрофізіології. Дюбуа-Реймон намагався усі явища у живих організмах пояснити з точки зору фізики та хімії. Він запропонував молекулярну теорію виникнення потенціалів у нервовій системі та визначив «струм спокою» [9].

Під час Франко-Пруської війни двом офіцерам пруської армії, **Притчу** та **Гігцигу**, у 1870 році прийшла думка подразнювати оголений мозок вбитих солдат електричним струмом. Внаслідок своїх дослідів вони помітили, що при подразненні деяких ділянок бічної частини мозку виникають рухи на протилежному боці тіла [10].

Першовідкривачем факту генерації електричного струму самим головним мозком відкрив англійський лікар Ричард Кетон у 1874-1876 рр. Він вперше засвідчив різницю потенціалів між двома точками на шкірі голови кроля та мавпи. За допомогою капілярного гальванометру він проводив спостереження за електричною активністю оголеного мозку у різних тварин під час сенсорних впливів та довільних рухів. Кетоном було

показано, що електрична активність головного мозку залежить від нейрофізіологічних процесів, що протікають у ньому (рівня бадьорості, наявності сенсорних стимулів, інтенсивності кровопостачання). Про свої відкриття Кетон доповів у 1875 р. на засіданні Британської медичної асоціації [1-6].

Незалежно від Р. Кетона харківський вчений Данилевський В.Я. у 1875 р. теж за допомогою капілярного гальванометру зареєстрував біопотенціали оголеного головного мозку собак.

Дослідження Ричарда Кетона продовжив Ферьєр.

У 1882 р. російський вчений Сеченов І.М. досліджував електричну активність довгастого мозку жаби. Він довів, що при відділенні довгастого мозку від вищерозташованих відділів головного мозку спонтанні коливання підсилюються, а при подразненні периферичних нервів послаблюються до повного їх пригнічення [10].

Інший російський вчений Введенський М.Є. у 1884 р. у своїй роботі «Дослідження над нервовими центрами» застосував телефонічний метод для вивчення електричної активності нервових центрів. Він прослуховував у телефон активність довгастого мозку жаби і кори великих півкуль кроля та собаки шляхом введення двох електродів у мозок тварини. Електричні коливання представляли собою рокоти або шуми по звуковому характеру. Таким чином, Введенський Н.Е. підтвердив спостереження Сеченова І.М. та показав, що спонтанна активність характерна і для кори великих півкуль.

У 1889 р. з'явилось спостереження Веріго Б.Ф. над електричною активністю спинного та головного мозку. У 1890 р. Бек А. вивчаючи електричну активність оголеного мозку кролів та собак довів, що біопотенціали кори головного мозку не співпадають із дихальною та серцевою діяльністю. Він також показав, що при освітленні ока тварини у корі потиличної ділянки протилежної півкулі з'являються зміни електричного напруження, ця частина кори стає електронегативною по відношенню до інших ділянок кори.

У 1898 р. Ларіонов В.Е. намагався за допомогою спостережень зміни електричної активності кори головного мозку довести існування так званих тонових центрів слуху (до речі, їх існування не доведено досі).

У своїй роботі «Струми дії у корі півкуль головного мозку під впливами периферичних подразнень» Тривус С.А. у 1900 р. навів дані певних змін біопотенціалів головного мозку під дією зорових подразнень. Вперше він встановив залежність рівня електричної активності головного мозку від ступеня наркозу, пригнічення її при глибокому наркозі та підсилення при слабкому [1, 4, 9, 10]

Але не всі вчені того часу признали факт генерації мозком спонтанної активності головного мозку. Так, Чирьєв С.І. у 1904 р. у своїй праці «Електрорухові властивості мозку та серця» піддав сумніву усі роботи, що

доводять існування електричної активності мозку. Він наголошує, що потенціали, що реєструються від кори головного мозку, пов'язані з артефактами під час пошкодження мозку та рухами крові по судинам.

У відповідь Чирьєву С., у 1912 р. Кауфман П.Ю. проводить ряд ретельно спланованих експериментів на оголеному мозку собак. Ці експерименти довели, що електрична активність головного мозку є наслідком діяльності нервових центрів. Окрім того, ним доведена можливість реєстрації електричної активності мозку крізь шкірні покриви [10].

М.О. Бернштейн (1912 р.) припустив, що нестимульовані нервові клітини є гальванічними елементами з потенціалом спокою, тобто мають різницю потенціалів між зовнішньою та внутрішньою поверхнями клітин. Він припустив, що різниця потенціалів створюється різною концентрацією йонів усередині та зовні клітини. Згідно цієї гіпотези, нервовий імпульс є потенціалом дії, під час якого спостерігається переміщення йонів.

У 1912-1913 році В.В. Правдич-Неминський опублікував роботу, у якій довів можливість реєстрації електричної активності мозку з поверхні голови, тобто крізь неушкоджений скальп, кістки черепа та мозкові оболонки. Цим він остаточно довів, що електрична активність мозку не є артефактом під час пошкодження мозку. Правдич-Неминський проводив реєстрацію потенціалів через неушкоджений скальп та з оголеного мозку собаки за допомогою малоінерційного струнного гальванометру, який не мав підсилювача. Він помітив, що потенціали мозку можна розділити на два види: «повільні хвилі» (з частотою 0,5 – 10 Гц) та «швидкі хвилі» першого порядку (з частотою 10 – 15 Гц) та другого порядку (з частотою 20 – 30 Гц). Окрім того, Правдич-Неминський спостерігав феномен заміщення «повільної» активності на «швидку» при стимуляції. Ним був запропонований термін «електроцереброграма», який, нажаль, не прижився [1].

Основоположником клінічного метода електроенцефалографії вважають австрійського лікаря Ганса Бергера. У 20-х рр. він робив спроби реєстрації електричної активності головного мозку людини: наклеїв до голови добровольців металеві пластини, під'єднав їх до гальванометру та побачив на шкалі коливання у декілька тисячних вольтів. Для роботи він сконструював власний пристрій – «машина Бергера». Вона представляла собою одно-канальний реєстратор електричної активності головного мозку, який складався з гальванометра Едельмана (досить чутливий на той час прилад) та осцилографа, який мав дзеркальце та стрічку фотопаперу. Запис проводив асистент, який потім проявляв фотопапір. Такий пристрій дозволяв проводити реєстрацію з двох точок голови – лобова та потилична ділянка – за допомогою спочатку срібної проволочки, що вводилася під скальп, потім срібної фольги, що накладалася на скальп. Пізніше Бергер покращив свої записи за допомогою лампового підсилювача [4, 10].

6 липня 1924 р. Г.Бергер добився стійкого запису електроенцефалограми людини. Свої результати він опублікував на декілька років пізніше – у 1929 р. Бергер проводив дослідження електричної активності у стані спокою, розумового навантаження, наркозі, різних психологічних навантаженнях. Результати своїх досліджень він виклав у статті «Про енцефалограму людини» (1929 р.). У статті Бергер описав семіотику електричної активності, запропонував аббревіатуру «ЕЕГ», виокремив два види активності – ритм з частотою 10 Гц, який він назвав альфа-ритм, ритм з частотою вище 10 Гц, який він назвав бета-ритм.

Бергер дав характеристику альфа-ритму: виникає при заплющених очах, під час відкривання очей та сенсомоторної стимуляції він заміщується бета-активністю. Окрім того, Бергер відмітив зміни ритмів електричної активності в залежності від функціонального стану головного мозку – під час сну, загального наркозу, анестезії. Також, є відмінності між електричною активністю головного мозку здорової людини та хворої на епілепсію.

Нажаль, погляди Г.Бергера дуже вороже зустріли його колеги. Незламність у своїх поглядах призвела до того, що у 1938 р. Бергера відправили у відставку з поста керівника клініки психіатрії медичного факультету Йенського університету, яку він очолював більше 20 років. Після відставки Бергер впав у сильну депресію і 1 липня 1941 р. покінчив життя самогубством.

Недоліком Бергера були його недостатні знання з техніки та фізичних основ свого метода. Він не зміг достатньо пояснити явища, що спостерігав. Не зміг і вдосконалити механізмів для реєстрації електричної активності, а за основу методу взяв електрокардіографічну техніку.

Реабілітувати погляди Г.Бергера змогли Едгар Дуглас Едріан та Альберт Прескотт Меттьюс, які у 1934 р. на зборах Фізіологічного товариства продемонстрували зв'язок «ритму Бергера» (так називали альфа-ритм) з біоелектричною активністю головного мозку. З цією метою вони використали чорнильнопишущий осцилограф, що спростило запис електроенцефалограми. Ними було встановлено, що альфа-ритм (ритм з частотою 10 кол/с) виникає не по всьому скальпу, як вважав Бергер, а тільки у зоровій асоціативній зоні. На думку Едріана: «Нормальна електроенцефалограма виявляється розчаровуючи постійною». Основні дослідження Едріана та Меттьюса стосувалися активності окремих нейронів. Вони запропонували гіпотезу, згідно якої походження повільних електричних коливань можна пояснити сумацією монофазних пікових потенціалів тривалістю від 10 до 100 мс, що виникають у сомі або дендриті нейрона. Згідно їх теорії кожний імпульсний розряд поодинокого нейрона викликає на поверхні кори невелике монофазне відхилення потенціала. Одночасне виникнення та часткове перекриття у часі багатьох потенціалів

у кіркових нейронах приводить до значного сумарного коливання потенціала, яке можна зареєструвати [4].

Розквіт електроенцефалографії. У середині 30-х рр. Бергера відвідав Уільям Грей Уолтер та познайомився з його «ЕЕГ-машиною». На замовлення Уолтера К. Лукас, А. Метьюс та Е. Едріан створили більш досконалий пристрій для запису ЕЕГ – потужний на той час багатоканальний електроенцефалограф. Уолтер є одним із засновників метода ЕЕГ, жодна ключова подія у розвитку електроенцефалографії не відбулося без його участі. Уолтер став тим, хто вивів метод ЕЕГ на новий щабель розвитку [10].

У 1936 р. Уолтер досліджував хворих на пухлину мозку та описав повільні хвилі з частотою 1-6 Гц, які назвав дельта-хвилі. Досліджуючи електричну активність під час сну, він помітив таку саму повільну активність, але яка не була пов'язана з патологічним станом.

У 1943 р. Уолтер проводив ретельне дослідження впливів ритмічної фотостимуляції та з'ясував, що вона може провокувати епілептичний напад навіть у осіб, що не мали в анамнезі епілептичних нападів. Це дозволило припустити, що фотостимуляція підвищує судомний поріг та ввести цей метод функціонального навантаження у протокол клінічного обстеження хворих.

Уолтер встановив зональні відмінності у альфа-ритмі, показав, що джерелом альфа-ритму є таламус. Сформулював гіпотезу, згідно якої альфа-ритм є «скануючим» механізмом мозку своїх нервових центрів, перевіряючи їх готовність до дії. Розробив метод тріангуляції, який досі використовується для локалізації епіочагів. Був піонером використання у клініці метода хронічного введення у мозок тонких електродів.

На світогляд Уолтера суттєвий вплив мали труди І.П.Павлова про умовні рефлекси. Після знайомства з методикою роботи Павлова, Уолтера зацікавили механізми виробки умовного рефлекса. Нажаль, для самого Павлова це не виявилось цікавим. Саме у методі електроенцефалографії Уолтер бачив можливості знайти кореляції умовної та безумовної рефлекторної діяльності. У 1964 р. він помітив, що при очікуванні стимулу на кривій ЕЕГ з'являється «умовне негативне відхилення» (CNV). У подальшому цей феномен отримав назву Е-хвиля, або хвиля очікування.

Уолтером були відкриті тета-хвилі, що супроводжували різні емоційні стани. Такі ж самі хвилі були знайдені ним на ЕЕГ дітей різного віку. Проте, Уолтер так і не зміг виявити кореляції тета-хвиль з певним емоційним станом.

У 1966 р. Уолтером був винайдений топоскоп – прилад, що дозволяв представити візуальну картину миттєвих значень електричних потенціалів у системі просторових координат голови. При цьому замість електричних змін протягом часу перед спостерігачем виникає єдина карта – модель

поверхні мозку. Технічно цей прилад розробив Гарольд Шиптон. Два з двадцяти чотирьох каналів топоскопа слугують для реєстрації стимулів, інші відводять електричну активність, що знімаються електродами, до екранів невеликих катодно-променевих трубок. Ці двадцять дві трубки створюють деяку подобу карти мозку. Частоти, фази та часові відносини ритмів відображуються на кожній з трубок у вигляді карти голови. Окрім того, топоскоп має звичайний чорнильнопишущий прилад, який дозволяє за необхідністю отримати запис електричної активності. За допомогою фотокамери можна отримати необхідні фотознімки.

У 1934 р. Фішер та Ловенбек вперше продемонстрували паттерн епілептиформної активності [7].

У 1935 р. подружжя Гіббс (Ерна та Фредерік) під керівництвом Вільяма Гордона Леннокса змогли провести реєстрацію паттерну малого епілептичного нападу. Ними був проведений опис інтеріктальної активності. У цьому ж році на прохання Ф.Гіббса був створений багатоканальний електроенцефалограф, що дозволяв вести запис по трьом каналам (до цього моменту запис ЕЕГ робили тільки по одному каналу) [5].

У 1936 р. у Масачусетському госпіталі створюють першу лабораторію ЕЕГ. Цього ж року Уалдером Грейвсом Пенфільдом та Гербертом Генрі Джаспером було надано характеристику інтеріктальної активності як вогнищевої ознаки епілепсії на ЕЕГ.

Ерна та Фредерік Гіббс у цей час працюють у клініці епілепсії. Результатом їхньої роботи у 1941 році став «Атлас електроенцефалографії», у якому вони описали ЕЕГ-семіотику при різних неврологічних хворобах, особливо епілепсії. Практично всі патологічні хвилі ЕЕГ були описані В.Г.Ленноксом, Ф.Гіббсом та Е.Гіббс. Вони продовжували досліджувати паттерни електричної активності під час епілепсії незважаючи на скепсис більшості вчених того часу щодо ЕЕГ як засобу діагностики епілепсії. Завдяки їм на сьогоднішній день ЕЕГ є практично єдиним достовірним клінічним методом діагностики епілепсії.

У 1938 р. Персиваль Бертлі та Фредерік Бремер проводили реєстрацію електричної активності мозку у гострих дослідах на кішках. Вони помітили, що при стимуляції блукаючого нерва виникають зміни кіркової ритміки.

У 1938 р. Дональд Бенджамін Ліндслі повідомив про збільшення частоти домінуючого ритму спокою у дітей у процесі від народження до статевої зрілості.

У 40-х рр. стає очевидним, що ЕЕГ є основним клінічним методом визначення епіочагів.

Б.Реншоу та співробітники у 1940 р., працюючи за допомогою мікроелектродної техніки на окремих нейронах кори і гіпокампу, поставили під сумнів гіпотезу Едріана і Метьюса походження електричної

активності як суму потенціалів дії нейронів, оскільки потенціал дії складає приблизно 1,5 мс, а тривалість хвилі ЕЕГ – 10-1000 мс [4].

У 1946 р. Пенфільд та Джаспер розробили метод інтраопераційної електрокортикограми. Він заключався у наступному: під час операцій на головному мозку проводили реєстрацію нативної електричної активності кори та стимулювання різних відділів кори для точної локалізації патологічного вогнища. Такий ЕКОГ-моніторинг під час операції на мозку став з 1950 р. «золотим стандартом» під час проведення операцій на головному мозку.

За часи проведення операцій на головному мозку Пенфільд накопичив достатню кількість фактів про локалізацію функцій у корі головного мозку, що дозволило йому створити «гомункулюс» – схематичне представлення функціональної карти кори головного мозку.

У 1949 р. за допомогою електрофізіологічних досліджень канадські вчені Гораціо Мегун та Джузеппе Моруцци виявили, що ділянки, які відповідають за збудливість кори головного мозку, розташовані на стовбурі головного мозку, у ретикулярній формації. Вони помітили, що її подразнення викликає пробудження, а електрографічна картина у цей час характеризується частими коливаннями низької амплітуди. Таким чином, вони відкрили активуючий вплив ретикулярної формації стовбуру мозку на кору великих півкуль [4, 5].

У 30-50-ті рр. деякі вчені (P.Gerard, 1936; G.Burr, 1950) гадали, що сукупність нейронів у нервових центрах мозку підпорядковуються керуючому впливу організованого електричного поля. Вони стверджували, що електричне поле мозку має вертикальний і горизонтальний градієнти, завдяки яким підтримується єдність дії нервових центрів.

У 1952 р. Алан Ходжкін та Ендрю Хакслі розділили Нобелівську премію з Джоном Екклзом. Ходжкіним та Хакслі були детально проаналізовані та вивчені електричні явища на мембрані гігантського аксона кальмара та запропонована математична модель потенціалу дії, яка пояснює його йоний механізм. Екклз працював над явищами збудження і гальмування у постсинаптичній мембрані, що дозволило йому обґрунтувати ВПСП та ГПСП, а також довести гіпотезу синаптичної передачі імпульсу [11].

Ці відкриття дали змогу у майбутньому пояснити електричну активність головного мозку як результат синаптичного електрогенезу.

У 1953 р. Натаніель Клейтман разом з аспірантом Юджином Асеринським описали парадоксальну стадію сну (REM-sleep). Клейтман започаткував полісомнографію та, на основі вивчення електроенцефалограм, створив класифікацію стадій сну [10].

У 1954 р. Дж. Даусон використав методіку синхронного накопичення для виділення слабких електричних відповідей мозку, що значно менше сигналів спонтанної ритміки ЕЕГ. Він започаткував окрему гілку вивчення

електричної активності мозку – вивчення викликаних потенціалів (ВП). ВП мають амплітуду значно нижчу за основний фон, тому для їх реєстрації необхідні спеціальні методики накопичення. У 70-х рр. були відкриті реакції на пропущений стимул (Піктон, Хільярд, 1974), ВП, пов'язані з рухами (Трошина, 1992), потенціали, пов'язані з наміром (Tesse, 1976).

У 1958 р. Гербом Генрі Джаспером була запропонована «система координат» для розміщення електродів при різних електрофізіологічних досліджень мозку для уніфікації результатів, отриманих різними дослідниками. Ця система координат отримала назву «міжнародна система 10-20%», або просто «система 10-20».

Період з 50-х по 70-х рр. ХХ ст. вважається «золотим віком» для ЕЕГ. У цей період відбувається масове вивчення електричної активності мозку. Створюються численні лабораторії, присвячені вивченню ЕЕГ по всьому світу. Перерахувати всіх вчених та дослідження, які вони проводили важко, тому що їх дуже велика кількість. Вивчається не тільки фонові електрична активність, а й електрична активність у різних функціональних станах, використовується різні функціональні проби, ВП. Створюються все нові і нові методи обробки кривої. Інтерес вчених до електричної активності мозку пов'язаний з тим, що вони намагаються пов'язати криві ЕЕГ та мисленнєві процеси. Вважалося можливим розшифрувати думки людини шляхом розшифровки кривої ЕЕГ. Але цього не відбулося і інтерес вчених поступово згас. За останній час у ЕЕГ не відбулося ніяких принципових відкриттів. Якими б методами обробки сигналів ЕЕГ не користувалися, принципово нових фактів про електричну активність головного мозку відкрити вченим не вдалося [1, 3, 4, 6, 10].

Хотілося окремо зупинитися на деяких фактах вивчення електричної активності головного мозку після 70-х рр. ХХ століття.

Багатьма вченими досліджувався віковий аспект електричної активності головного мозку. Ще Грей Уолтер відмітив значно повільніші та високоамплітудні хвилі на ЕЕГ дітей порівняно з ЕЕГ дорослих. У подальшому ця основна тенденція розвитку електричної активності підтверджена багатьма дослідниками, такими як О. Eeg-Olofsson, 1970, 1980; Д.А. Фарбер, В.В. Алферова, 1972; Bennett, 1983; K. Sadowsky et al., 1983; R. Cammann et al., 1985; N. Roth et al., 1985; A.E. Diaz de Leon et al., 1988; R.J. Somsen et al., 1997; Горбачевская, 2000 та інші. По різних джерелам стабілізація частоти основного ритма ЕЕГ людини на максимальній позначці відбувається у віці від 11 до 13 – 15 років [3, 5, 7, 8].

У 1970-1971 рр. Джуїт (Jewett) публікує роботу, у якій показує можливість реєстрації об'ємно-провідникових відповідей мозку віддалених ділянок від місця реєстрації стовбурових структур. Проте, роль об'ємного проведення у мозку при реєстрації електричної активності виявляється

фактом, що важко сприймається науковим світом, викликає багато дискусій та не має однозначної думки.

Рядом вчених у 70-80-х рр. проводилися дослідження та порівняння електричної активності, що реєстрували одночасно зі скальпа людини та, за допомогою вживлених електродів, безпосередньо з кори півкуль (Bostem, 1978; Aryzo et al., 1981; Barth et al., 1986). Ними був встановлений коефіцієнт послаблення електричної активності за рахунок опору черепа, проте у різних авторів цей коефіцієнт складав від 2 до 5000 разів.

Хосек у 1978 р. проводив експерименти з реєстрацією скальпової та кіркової електричної активності тварин та довів, що електрична активність глибинних структур може поширюватися у провідному середовищі мозку та реєструється на поверхні голови.

Cobb (1977), Murray (1981) відмічають збільшення амплітуди і більш високочастотний характер активності у зоні трепанації отворів черепа, ніж на непошкодженій ділянці, та згладження цих відмінностей після пластики дефекту.

У 1981 р. Murray з лікувальною метою пропускав слабкі струми крізь голови новонароджених дітей (крізь лобову та потиличні кістки) та відмітив, що 80% струму проходить крізь мозок. Він поставив аналогічний дослід на геометричній моделі мозку. На основі отриманих даних він підтвердив, що мозок є об'ємним провідником для струмів.

У 1993 р. Baumgartner встановив, що картування поверхневих потенціалів виявляється більш «розмазаним» ніж внутрішньомозкові потенціали. Він спирається на дослідження А.М. Гутмана у 1980 р., який показав, що скальп, кістки черепа, тверда мозкова оболонка та спинномозкова рідина зменшує щільність струмів, згладжує просторові варіації щільності струму, потенціали на поверхні скальпа містять порівняно мало високочастотних компонентів.

Чайлерс у своєму огляді написав, що нейрофізіологи розділилися на два табори: одні (Goldensohn, 1975; Lopes da Silva, 1990 та інш.), спираючись на моделі провідникових шляхів головного мозку та висхідної ретикулярної формації, розглядали потенціали мозку як наслідок діяльності складних кірково-підкіркових зв'язків, розглядаючи потенціали та механізми їх поширення по складним шляхам; інші (Gerberandt, 1978; Hiorth, 1975) електричну активність мозку пов'язують з теорією електричного поля та відводять велику роль об'ємній провідності і характеру поширення електричних полів від дипольного джерела. На думку Чайлдерса, моделями ЕЕГ та ВП, що засновані на дипольних моделях не вистачає правдивості, оскільки їхніми творцями часто є фізики і створенні ними моделі є дуже спрощеними і невідповідають складно організованій ієрархічним зв'язкам ЦНС. Проте, Чайлдерс підкреслював, що деякі феномени ЕЕГ та ВП (фазова

інверсія, поширеність, відсутність потенціалів, що запізнюються) можна пояснити лише за допомогою цих моделей [10].

У 60-х рр. обчислювальна техніка та ЕВМ широко розповсюдилася у всі сфери життя. Не обминуло це і електрофізіологію.

За допомогою обчислювальної техніки вчені намагалися спростити амплітудно-частотний аналіз кривої ЕЕГ, виділити ті компоненти, які важко візуалізуються, провести кореляційний та когерентний аналіз хвиль ритмів ЕЕГ.

М.Брезье та Барлоу у 1956 р. розробили методику кореляційного аналізу кривої ЕЕГ. У 1956 р. М.М.Ліванов та Ананьев використовували частотний аналіз для дослідження спектральних компонентів ЕЕГ. У 1966 р. Грей Уолтер застосовував високосмушкові частотні аналізатори і топокопи, що заклали передумови топографічного картування амплітуди та частоти ритмів електроенцефалограми.

Рядом вчених (Dumermuth, 1965; Oken, 1989; В.С.Русинов, О.М.Гриндель, 1989) для аналізу феноменів ЕЕГ використовувався спектральний аналіз когерентності фаз хвиль ЕЕГ.

З 1984 р. Duffy F.N. почав використовувати картування ЕЕГ для аналізу спектральних характеристик. У 1983 р. Ліванов, а пізніше Кніпст, Куров, Свідерська (1982, 1987) використовували кореляційні відносини ЕЕГ багатьох точок мозку з метою оцінки просторової синхронізації. Це дало змогу оцінити, у яких просторових співвідношеннях розподілу потенціалів знаходяться різні ділянки кори головного мозку.

У 80-х рр. метод топографічного картування отримав широке розповсюдження у клінічній практиці та дослідницькій роботі (Duffy F.N. et al, 1989; Nuwer M.R., 1988). Цей метод дає можливість за допомогою реєстрації електричної активності з обмеженою кількістю електродів (16-64 електроди) на основі алгоритмів інтерполяції отримати амплітудний і частотний аналіз електричної активності всієї поверхні мозку. Цей метод можна розглядати як «псевдозображення», на відміну від томографії – методу структурного картування.

Gevis зі співробітниками у 1994 р. розробили метод картування електричної активності головного мозку за допомогою деблюрингу. Цей метод використовує складні алгоритми, на основі яких можна прибрати усі викривлення від скальпу [3, 5].

Метод топографічного картування електричної активності головного мозку знайшов широке застосування у клінічній практиці і у наукових дослідженнях. Він є значно простішим для сприймання у порівнянні зі звичайною кривою ЕЕГ, проте його недоцільне використання може призвести до викривлення отриманих результатів.

Janin Jägera, Alexander Kleinb, Martin Buhmanna, Wolfgang Skrandies (2014) наводять новий спосіб обробки ЕЕГ-сигналу: метод скринінгу, що

використовує часову дисперсію двох різнорідних сигналів. Це, на думку авторів, полегшить алгоритми роботи комп'ютерної ЕЕГ у кл

Початок ХХІ століття ознаменувався для ЕЕГ масовими вивченнями електричної активності мозку при різних когнітивних та поведінкових процесів з метою з'ясування їх механізмів. Так, наприклад, Logan T. Trujilla, Marry A. Petterson (2005) досліджували ЕЕГ-корреляції розпізнавання незнайомих образів; Neil M. Branstone, Wail El-Deredy (2005) досліджували електричну активність мозку при стимуляції за допомогою трьох різних типів візуальних стимулів; Мержанова Г.Х., Залешин А.В. (2007, 2011), Павлова І.В., Ванециан Г.Л. (2007) досліджували паттерни ЕЕГ при різних формах поведінки; Свідерська Н.Е, Антонов А.Г., Бутнева Л.С. (2007) проводили порівняльний аналіз просторової організації ЕЕГ на моделях дивергентного та конвергентного невербального мислення; Alegre M. (2008) вивчав зміни коливань ЕЕГ під час примусового припинення автоматизованого руху; Мачинська Р.І., Палалай І.В., Курганський А.В. (2015) проводили дослідження різних видів уваги за допомогою пошуку ЕЕГ-корелятивів; Костандов Е.А., Черьомушкіна Е.А. (2015) вивчав організацію альфа-ритму при різних видах когнітивної діяльності; Білоусова Л.В., Разумнікова О.М. (2015) намагалися знайти кореляції між піком частоти альфа-ритму і рівнем IQ.

У лабораторії нейрофізіології когнітивних процесів Думенко та Козлов (2002, 2005) досліджували функціональне значення високочастотних коливань електричної активності головного мозку, що проводили на собаках при їх інструментальному навчанні. Вони використовували широкочастотну смугу ЕЕГ – 1-250 Гц. Основну увагу вони приділили високочастотним складникам – 80-240 Гц.

Sampsa Vanhatalo, Juha Voipio (2005) заявили, що обмеження частотної смуги ЕЕГ, яку використовують протягом майже 50 років у рутинній клінічній ЕЕГ суттєво звужують діапазон частот, що можна записати. За їх дослідженням, при патологічних станах реєструється частота від 0,01 Гц до декількох сот Гц. Навмисне їх відкидання буде призводити до зменшення діагностичної цінності ЕЕГ. Вони пропонують використовувати у клініці пристрій з сильним підсиленням і широкими діагностичними діапазонами і високою частотою дискретизації.

Naotaka Usui, Kiyohito Terada (2010) за допомогою субдуральних електродів вдалося записати таку електричну активність головного мозку під час епілептичного нападу, частота якої дорівнювала 1000-2500 Гц (VHFO – very high frequency oscillations). Ця активність мала певну локалізацію в залежності від розташування вогнища епілепсії.

Дослідження електричної активності головного мозку знайшли застосування і для виявлення механізмів синдрому гіперактивності у дітей.

Такі дослідження проводили Robert J. Barrya, Adam R. Clarkea (2008), Mihaly Hajosb, Rory McCarthyc, Mark Selikowitzc, Franca E. Dupuy (2010).

Багато вчених продовжили вивчення електричної активності мозку під час епілепсії. Епілептиформну активність із застосуванням різних методик обробки сигналу та моделювання різних ситуацій реєстрували Abbas Babajani-Feremia (2010), Shalini Narayanaa, Roozbeh Rezaiea, Asim F. Choudhrib, Stephen P. Fultonb, Frederick A. Voorb (2016) та інші.

Грей Уолтер у 1975 році сказав: *«Немає сенсу штурмувати за допомогою численних комп'ютерів bastiони ЕЕГ, багато з яких існують тільки у нашій уяві, поки головний bastiон – зв'язок мозкових хвиль зі структурами мозку – не взят»*. Нажаль, це висловлювання актуальне і у наш час. Скільки б способів комп'ютерної обробки електричного сигналу головного мозку не винаходили, це нас не наближує до розуміння його природи та механізмів генерації».

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров М.В. История электроэнцефалографии: русская увертюра мировой симфонии / Александров М.В. // Физиология. – Т.13., 2012 – С. 372-384.
2. Благосклонова Н.К. Детская клиническая электроэнцефалография / Благосклонова Н.К., Новикова Л.А. – М.: Медицина, 1994. – 204 с.
3. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая электроэнцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга) / Гнездицкий В.В. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 624 с.
4. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга (курс лекций) / Гусельников В.И. – М.: «Высшая школа», 1976. – 422 с.
5. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): [руководство для врачей] / Л.Р.Зенков– 3-е изд. – М.: МЕДпрессинформ, 2004. – 368с.
6. Ливанов М.Н. Нейрофизиологический аспект исследований системной организации деятельности головного мозга / Ливанов М.Н., Думенко В.Н. // Успехи физиологических наук. – 1987. – Т.18, №3. – С.6 – 17.
7. Мачинская Р.И. Формирование функциональной организации коры больших полушарий в покое у детей младшего школьного возраста с различной степенью зрелости регуляторных систем мозга. Сообщение II. анализ когерентности альфа-ритма ЭЭГ / Мачинская Р.И., Соколова Л.С., Крупская Е.В. // Физиология человека. – 2007. – Т.33, №2. – С.5 –15.
8. Сви́дерская Н.Е. Пространственная организация ЭЭГ при интенсивной гипервентиляции (циклическом дыхании). Сообщение I. Общие закономерности изменения функционального состояния мозга и влияние пароксизмальной активности / Сви́дерская Н.Е., Быков П.В. // Физиология человека. – 2006. – Т. 32, № 2. – С. 20 – 30.
9. Сеченов И.М. Избранные произведения / Сеченов И.М. – Т. 2. – М., 1956. – 942 с.
10. Уолтер Г. Живой мозг / Уолтер Грей. М., 1996.
11. Фарбер Д.А. Физиология подростка / Фарбер Д.А., Алфёрова В.В. – М.: Педагогика, 1988. – 208 с.

Shkuropat A.V., Dishlich V.M.

ELECTROENCEPHALOGRAPHY: HISTORY OF THE METHOD

To date, the method of electroencephalography is one of the leading methods of clinical examination of the functional state of the brain. However, the formation of it as a method would not have been possible without such methodological techniques as measuring the amount of electricity that allowed Dubois-Raymond to permanently discontinue the debate over the heuristic theory of Galway's bioelectrogenesis. The creation and perfection of galvanometers allowed the discoverers of the electrical activity of the brain (Katon, Danilevsky, Pravdych-Nemirsky, Berger) to make the first records and to establish the first classification (Berger) of the EEG rhythms. The development of computer technology and computer processing techniques led to the rapid development of the EEG method. However, today's existing approaches to EEG do not yield the desired results and do not allow to reveal the intimate mechanisms of generating EEG. Possibly, the creation of new approaches and methodical techniques will overcome this problem and identify the sources of generating EEG rhythms.

Key words: *electroencephalography, brain research, neurophysiology, electrogenesis, Walter, Berger.*