

Розвиток електрофізіології на Україні

Д. С. Воронцов

Власне електрофізіологія як самостійна галузь фізіології займається дослідженням, з одного боку, механізмів виникнення біоелектричних потенціалів та їх відношення до життєвих явищ, а з другого боку — дії електричного струму на живі утворення. Проте іноді до електрофізіології відносять і ті фізіологічні праці, які застосовують електрофізіологічний метод дослідження (реєстрацію струмів дії, які супроводжують процеси збудження в різних тканинах і органах). І в тому і в іншому відношенні українські фізіологи зробили великий внесок у фізіологічну науку.

Насамперед треба спинитися на працях харківського фізіолога, академіка АН УРСР професора Василя Яковича Данилевського. Він ще в 1875 р., на початку своєї наукової діяльності, відкрив, що головний мозок під час своєї роботи продукує електричні струми. Перше повідомлення про це він зробив у «Пфлюгерівському Архіві» (т. II, стор. 128—138, 1875). Це відкриття було зроблене незалежно від аналогічного спостереження англійського дослідника Катона, про яке він доповів у серпні 1875 р. на зборах Британської медичної асоціації в Единбургу. Тому ми вправі вважати В. Я. Данилевського основоположником сучасної електроенцефалографії. Данилевський виявив електричні струми головного мозку з допомогою дзеркального гальванометра, приладу інертного, який давав тільки суцільне відхилення і при дії на нього переривистих струмів. Тепер нам добре відомо, що електричні реакції великих півкуль головного мозку є переривистими, складаються з коливань електричного потенціалу різної частоти: від 3—5 і менше і до 100 і більше в секунду. Проте і встановлення ритмічної природи цих реакцій головного мозку належить також українському фізіологу В. В. Правдич-Неминському, який у 1913 р. з допомогою струнного гальванометра зареєстрував уперше електроенцефалограму кішки, собаки, кролика, тобто на 15 років раніше, ніж Бергер, який вже з допомогою осцилографа і підсилювача зареєстрував коливальний характер електричних реакцій головного мозку людини (бергерівський ритм).

Крім вказаного важливого відкриття, В. Я. Данилевський провів велике дослідження подразнювального впливу магнітного поля на нерви тварин. Механізм цього впливу і дотепер не зовсім з'ясований. Інший видатний український фізіолог академік АН УРСР О. В. Леонтович показав, що нерв можна подразнити шляхом індукції в ньому електричного струму. Якщо помістити нерв дуже близько до подовженої спіралі ізольованого дроту, то в момент замикання або розмикання струму в цій спіралі в нерві збуджується нервовий імпульс. Очевидно, ця подразнювальна дія спіралі здійснюється через індукцію електричного

струму в нерві. Тому треба вважати, що і дія магнітного поля, відкрита Данилевським, зводиться до індукції в нерві електричного струму магнітним полем і цей струм подразнює нерв.

Професором фізіології Київського університету з 1886 по 1908 р. був С. Чир'єв, який присвятив багато своїх досліджень електричним явищам у тваринних тканинах і щодо цього додержувався цілком оригінальної точки зору, а саме: він вважав, що струми дії і нервів, і м'язів є результатом не негативних електричних потенціалів, що розвиваються цими тканинами, як це відбувається в дійсності і як це вважають усі з часу Дюбуа Реймона, а результатом зміни опору цих тканин при їх діяльності. Він вперше на Україні застосував для дослідження електричних явищ у нервах і м'язах розроблений М. Є. Введенським телефонічний метод.

Важливий вклад в електрофізіологію зробив професор Одеського університету Б. Ф. Веріго. Насамперед він додатково до тих закономірностей дії постійного електричного струму на нерви, які були встановлені Е. Пфлюгером, встановив, що в ділянці того електрода, через який струм залишає нерв (катод), підвищення збудливості відбувається лише при відносно слабких або не дуже тривалих струмах. Але якщо перейти до застосування сильних або дуже тривалих струмів, підвищена збудливість швидко змінюється її зниженням, і розвивається «катодична депресія» Веріго. Цей термін увійшов у світову літературу разом з ім'ям Веріго. Крім того, Веріго приділяв багато уваги загальній фізіології нервів і особливо механізму поширення нервового імпульсу по нерву. Так, він встановив, що коли ділянку нерва в його середніх частинах піддати альтерації (наприклад, наркозу), то провідність цієї ділянки зникає тим скоріше, чим вона довша. При дуже короткій ділянці альтерації (менше 7 мм) непровідність розвивається дуже повільно. Оскільки поширення нервового імпульсу по нерву відбувається за допомогою струму дії нерва, тобто електричним способом, на що вперше вказав Л. Герман, то при обговоренні питання про причини більш пізнього розвитку непровідності в коротких альтерованих ділянках нерва Веріго висловив припущення про можливість перестрибування нервового імпульсу через коротку альтеровану ділянку нерва при допомозі струму дії. Приблизно через 30 років Ерлангер і Блер експериментально довели таке перестрибування нервового імпульсу через кілька перехватів Ранвье в м'якушевих нервових волокнах.

Виняткову роль в розвитку електрофізіології не тільки на Україні, а й у світовому масштабі відіграв академік АН УРСР В. Ю. Чаговець — професор Київського університету з 1910 по 1941 р.

Уродженець Роменського повіту, Полтавської губернії, Василь Юрійович Чаговець після закінчення Київської гімназії поступив у Військово-медичну академію і там, слухаючи курс фізіології у професора І. Тарханова, зацікавився цією наукою взагалі і електрофізіологією зокрема. Йому було надане робоче місце в лабораторії Тарханова, і він почав досліджувати вплив різних речовин на електромоторні властивості м'язів. Але разом з тим його зацікавило питання про природу і джерело виникнення електричних потенціалів у живих тканинах. І ось, будучи ще на четвертому курсі академії, він виступив перед Петербурзьким фізико-хімічним товариством з доповіддю, в якій виклав свою теорію виникнення біоелектричних потенціалів. Ця його доповідь була опублікована в «Журнале Русского физико-химического общества» в 1896 р. Після закінчення академії Чаговець зайнявся більш докладною розробкою своєї теорії біоелектричних потенціалів і механізму подразнювального впливу електричного струму на живі тканини. Ця його

видатна праця під назвою «Нарис електричних явищ у живих тканинах» була опублікована в двох частинах. Перша частина була видана в 1903 р. і становила його докторську дисертацію. Вона була присвячена теорії виникнення біопотенціалів у різних тканинах: м'язовій, нервовій, залозах, а також у рослинних об'єктах. Друга частина була видана в 1906 р. і присвячувалася теорії електричного подразнення.

Я не маю можливості тут спинятися на викладі теорії В. Ю. Чаговця. Хто зацікавиться цим питанням, може звернутися до перелічених книг Чаговця або прочитати мою брошуру «В. Ю. Чаговець — основоположник сучасної електрофізіології», вид. Київського державного університету, 1957 р., де теорії Чаговця викладені в більш популярній формі.

Обмежусь лише вказівкою, що В. Ю. Чаговець, виходячи з іонної теорії С. Арреніуса, переглянув усі найголовніші положення і фактичні дані сучасної йому електрофізіології і підвів під них фізико-хімічну основу. Він вважав, що електричні потенціали живих тканин є дифузійними потенціалами, які створюються дифузією продуктів посиленого обміну речовин і, зокрема, вугільною кислотою, яка утворюється в місці збудження (біля поперечного розрізу або в місці розвитку звичайної хвилі збудження). Оскільки іон водню має дуже велику швидкість руху, а іон HCO_3 майже в п'ять разів меншу, то природно, що при дифузії водневий іон випереджатиме аніон HCO_3 і надасть тим частинам клітини, куди він дифундує, позитивного потенціалу, а іон HCO_3 залишається позаду і надає тим частинам, звідки йде дифузія, негативного потенціалу. Чаговець визнавав наявність на поверхні протоплазми клітини напівпроникної мембрани, яка не допускає виходу дифундуючих іонів з клітини, отже, вони могли дифундувати тільки всередині клітини (нервового і м'язового волокна), але ніякого іншого значення в створенні електричних потенціалів цим мембранам він не надавав.

Щодо подразнювального впливу електричного струму на збудливі утворення (нерви, м'язи) Чаговець, навпаки, надавав величезного значення цим напівпроникним мембранам. Він вважав, що при пропусканні електричного струму через нерв або м'яз іони, які рухаються під впливом цього струму, нагромаджуються біля мембрани і заряджають її як конденсатор до певного потенціалу і цей заряд є подразником для нервового або м'язового волокна. Він визначив електричну ємність мембрани нервового волокна, її пороговий заряд і показав, що подразнювальна дія електричного струму підкорена тому самому закону, що і заряд конденсатора. Крім того, він довів, що такі емпіричні закони подразнювального впливу електричного струму, як формула Ж. Вейса або Горвега, по суті своїй є лише іншою формою виразу конденсаторного закону.

Ці дослідження Чаговця створили фізико-хімічну основу електрофізіології і поставили цю галузь фізіології на тверду матеріалістичну основу, а разом з тим зробили електричні явища в живих тканинах одним з найважливіших засобів для пізнання фізико-хімічного механізму таких основних фізіологічних процесів, як збудження і гальмування. Наступний розвиток електрофізіології підтвердив правильність ідей Чаговця і є розширенням і поглибленням того напрямку, який був закладений Чаговцем.

Кафедру фізіології у Київському університеті В. Ю. Чаговець очолював у 1910 р., вже після того як закінчив свої основні праці. Тут він значно розширив фізіологічну лабораторію, поповнив її найновішими апаратами, головним чином для електрофізіологічних досліджень. Він широко залучав молодь до дослідницької діяльності, переважно в галузі

електрофізіології, але разом з тим проявляв немалий інтерес до питань травлення і кровообігу. З електрофізіологічних досліджень, проведених в його лабораторії, слід вказати на праці по вивченню подразнювальної дії розрядів конденсаторів, електропотенціалів конусоподібних м'язів і їх моделей, електротонічних потенціалів нервів, швидкості поширення цих потенціалів у нерві, залежності між тривалістю електричного струму і його подразнювальною дією. Але особливо багато уваги він приділив дослідженню електричних потенціалів слизової шлунка. Якщо один електрод ввести всередину шлунка, а другий прикласти де-небудь зовні тіла, то гальванометр, з'єднаний з цими електродами, виявляє струм, що йде від зовнішнього електрода до внутрішнього, тобто слизова шлунка має негативний потенціал. Але якщо тепер яким-небудь способом викликати діяльність травних залоз шлунка, то цей струм швидко зменшується або навіть набуває іншого напрямку. Зміни цього струму можна сфотографувати у вигляді кривої, яка дістала назву електрогастрограми. Крім самого Чаговця, електрогастрограми вивчали А. І. Венчиков, Є. С. Стальненко та ін. (список праць В. Ю. Чаговця і його співробітників наведено в статті Д. Воронцова «В. Ю. Чаговець і його значення в розвитку фізіології», Наукові записки Н.-д. інституту фізіології тварин при Київському університеті, том 2, вип. 2, 1947, стор. 205). Чаговець не тільки створив теорію електрогастрограми, а й прагнув запровадити дослідження електрогастрограми в клініці при обслідуванні хворих, оскільки електрогастрограма безперечно відбивала стан і діяльність травних залоз шлунка.

Крім наукової розробки проблем електрофізіології, В. Ю. Чаговець багато зробив і для практичного забезпечення електрофізіологічних досліджень. За його безпосередньою участю при Інституті гігієни праці і профзахворювань в Києві було налагоджено виробництво таких важливих апаратів, як маятники Гельмгольца, струнні гальванометри, які до того часу імпортували з-за кордону. За цю роботу В. Ю. Чаговець неодноразово був премійований Наркомздоров'я УРСР.

В 1916 р. Д. С. Воронцов був обраний асистентом по кафедрі фізіології тварин на фізико-математичному факультеті Одеського університету і розпочав там електрофізіологічні дослідження. Він досліджував там електромоторний вплив води на живі тканини і встановив, що м'язи і нерви жаби під дією води набувають позитивного потенціалу, але струм спокою їх при цьому значно зменшується. Проте м'язи жаби під впливом води стають електронегативними з одночасним ослабленням їх струму спокою. Він досліджував також так зване позитивне коливання нервового струму, яке полягає в тому, що після тривалої тетанізації нерва при однофазному його відведенні до гальванометра струм спокою цього нерва виявляє досить значне, але короткочасне посилення. Це явище, відкрите в лабораторії Евальда Герінга, було предметом багатьох досліджень, причому різні автори по-різному його тлумачили. Воронцов підійшов до нього, розглядаючи поперечний розріз нерва як стан парабіозу. Як відомо, негативний потенціал поперечного розрізу нерва з часом зменшується і, нарешті, зовсім зникає. Проте, якщо нерв піддати тетанізації частими індукційними струмами, то викликані цим збудження, досягаючи поперечного розрізу, мають поглиблювати його парабіотичний стан і разом з тим збільшувати негативний потенціал розрізу.

Ці дослідження показало, що при подразнюванні нерва відбуваються два процеси: на поздовжній поверхні нерва розвивається досить тривалий негативний потенціал; водночас збільшується негативний потенціал поперечного розрізу. Проте ці два явища проходять неоднаково.

Негативний потенціал на збільшений негативний потенціал звичайно, відбувається так. Таким чином, при цьому виває, крім швидкого струму на поздовжній поверхні, потенціалом (піком) і я відкриття було потім підкладно досліджене Воронцовом.

Воронцов відкрив такий ділянку нерва, паралізований розчинів солей лужних металів, такий нерв постійного струму ділянку, а катод на пропуску усуває параліч, і змінені м'язовий нерв. Навпаки, розчином лужноземельних металів оборотною дією (наприклад, алюміній) і кислот, у Воронцова були перевірені де Нота та ін.).

Крім того, Воронцов досліджував серця жаби, яке фізико-математичному факультету удостоєний цього ступеня лізовано походження св серця, яка складається з реакцією м'яза серця е який в кожній точці серця жується майже до кінця.

Якби м'язові волокна, але одне одному і збуджені і поширювалось до його двофазну криву, схожу з кривою м'язових волокон. Але ті ж самі початок всередині трикулярних клапанів і точка, і звідси майже і таким чином і визначається стан знає великих змін залежності. Ця обставина спростовує авторів, які надають велику вагу камерності шлуночка та процесів у серцевому м'язі. Ніколаї, А. Гофман та ін. проте від того самого форми електрограм при причому ці форми змінюються. Якщо ж ввести один відрізок він був розташований буде одержана одна форма положенні другого відрізка.

В 1935 р. Воронцов працював в медичного інституту, відкритий В. Ю. Чаговець.

Негативний потенціал на поздовжній поверхні нерва зникає раніше, ніж збільшений негативний потенціал на поперечному розрізі. Внаслідок цього, звичайно, відбувається тимчасове збільшення сили струму спокою нерва. Таким чином, при цьому дослідженні Воронцов встановив, що нерв розвиває, крім швидкого струму дії, ще й повільний негативний потенціал на поздовжній поверхні, який слідує за початковим великим і швидким потенціалом (піком) і який дістав назву слідової негативності. Це відкриття було потім підтверджене Гассером і Ерлангером і більш докладно досліджене Воронцовим же.

Воронцов відкрив також відновну дію анода постійного струму на ділянку нерва, паралізовану попереднім впливом на неї наркотиків і розчинів солей лужних металів (K, NH_4 , Cs, Rb). Пропускання через такий нерв постійного струму так, щоб анод припадав на паралізовану ділянку, а катод на проксимальну нормальну ділянку нерва, відразу ж усуває параліч, і змінена ділянка проводить імпульси так само, як і нормальний нерв. Навпаки, параліч ділянки нерва, спочатку обробленого розчином лужноземельних металів або взагалі двовалентних металів з оборотною дією (наприклад, цинк, залізо), а також тривалентних металів (алюміній) і кислот, усувається катодом постійного струму. Досліди Воронцова були перевірені і повністю підтвердились (Маккут, Лоренте де Но та ін.).

Крім того, Воронцов закінчив в Одесі своє дослідження електрограми серця жаби, яке було представлено як магістерська дисертація фізико-математичному факультету Одеського університету, і автор був удостоєний цього ступеня. В дослідженні було експериментально проаналізовано походження своєрідної форми електричної реакції шлуночка серця, яка складається з ряду зубців: *R*, *S* і *T*, і показано, що основною реакцією м'яза серця є розвиток негативного електричного потенціалу, який в кожній точці серця, починаючись раніше скорочення, продовжується майже до кінця скорочення.

Якби м'язові волокна шлуночка тягнулися вздовж серця паралельно одне одному і збудження в них починалось біля основи шлуночка і поширювалось до його верхівки, то ми одержали б при кожній систолі двофазну криву, схожу на двофазну криву скелетного м'яза з паралельними волокнами. Але тим, що м'язові волокна шлуночка жаби беруть свій початок всередині шлуночка, там, де сухожильні нитки атріовентрикулярних клапанів прикріплюються до внутрішньої поверхні шлуночка, і звідси майже віялоподібно розходяться в усі боки, головним чином і визначається своєрідність форми електрокардіограми, яка знає великих змін залежно від положення відвідних електродів на серці. Ця обставина спростовує погляди на форму електрокардіограми тих авторів, які надають вирішального значення в цьому відношенні двокамерності шлуночка теплокровних (Зеленін) або напряму біохімічних процесів у серцевому м'язі (Ланг), або процесу скорочення (Крауз і Ніколаї, А. Гофмани та ін.). Шлуночок серця жаби є однокамерним, проте від того самого шлуночка можна одержати найрізноманітніші форми електрограм при зміні положення на ньому відвідних електродів, причому ці форми зовсім схожі на електрокардіограми людини. Якщо ж ввести один відвідний електрод всередину шлуночка так, щоб він був розташований на місці прикріплення сухожильних ниток, то буде одержана одноманітна двофазна електрограма при будь-якому положенні другого відвідного електрода на поверхні серця.

В 1935 р. Воронцов очолив кафедру нормальної фізіології Київського медичного інституту, від керівництва якою, за станом здоров'я, був звільнений В. Ю. Чаговець.

П. Г. Костюк провів методом осцилографії велике дослідження фізіологічних властивостей двонейронної рефлекторної дуги (докторська дисертація), освоїв метод внутріклітинного відведення електричних потенціалів мікроелектродами і за допомогою нього вивчив потенціали м'язових волокон, нервових закінчень у них і потенціалів мотонейронів спинного мозку як при збудженні, так і при гальмуванні.

В тій же лабораторії С. І. Фудель-Осипова провела ряд досліджень електричної дратливості нерва, електротонічних змін збудливості нерва, періелектротону, локального збудження нерва, закону «все або нічого» щодо нервового волокна і гальмівної дії анода і катода на нервовий імпульс. У сукупності ці дослідження становили її докторську дисертацію.

С. Д. Ковтун в цій же лабораторії досліджував електромоторну дію ацетилхоліну на нерви і м'язи, а також вивчав електричні потенціали травних залоз при спокої і дії (кандидатська дисертація). Крім того, він вивчав вплив пірамідних шляхів на електротонічні потенціали корінців і лабільність нерва при різних видах альтерації.

Т. М. Мамонець досліджувала дію іонів калію і кальцію на рефлекторну діяльність спинного мозку (кандидатська дисертація). І. П. Семенютін вивчав вплив постійного струму на рефлекторну діяльність спинного мозку (кандидатська дисертація).

В інших фізіологічних лабораторіях України електрофізіологічні дослідження до Вітчизняної війни обмежувалися переважно вивченням хронаксії нервів і м'язів — В. М. Василевський (Харків), електричних потенціалів шкіри людини (психо-гальванічні рефлекси) — В. П. Горев, струмів дії м'язів людини — В. М. Лейнік (Інститут гігієни праці і профзахворювань, Київ). Після війни у Вінницькому медінституті на кафедрі нормальної фізіології електрофізіологічні дослідження провадив Ф. М. Серков. Він зайнявся вивченням електроенцефалограм людини і тварин при різних умовах. Ці дослідження він продовжує і після переходу в Одеський медінститут і, крім електроенцефалографічних, провадить дослідження електричних потенціалів нерва при розвитку в ньому парабіозу.

Після війни виник ще один осередок електрофізіологічних досліджень на Україні — кафедра фізіології Дніпропетровського університету, де П. Є. Мощний провадить разом із своїми співробітниками й учнями велику роботу по вивченню рефлекторного апарата спинного мозку із застосуванням електрофізіологічних методів (струми дії спинного мозку, хронаксія і адаптація різних частин спинного мозку).

Я не міг, звичайно, в короткому огляді розповісти про всі ті електрофізіологічні дослідження, які проводяться тепер на Україні в численних вузах і дослідних інститутах. Однак уже цей побіжний огляд показує, що в галузі електрофізіології українські фізіологи відіграють провідну роль. Особливо розквітла електрофізіологія на Україні після Жовтневої революції, головним чином завдяки розширенню сітки науково-дослідних установ і значному поліпшенню їх оснащення, що дозволило їм широко застосовувати найновішу апаратуру, яка здебільшого тут же, на Україні, і створювалася в зв'язку з величезним розвитком техніки. Тепер українська електрофізіологія, як і фізіологія в цілому, має всі дані для того, щоб успішно змагатися з фізіологією західних країн і впевнено її випереджати.

Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР,
лабораторія електрофізіології