

Висновки

1. Метод вироблення одного позитивного умовного рефлексу безпосередньо у зміненому газовому середовищі є найбільш тонким і швидким для виявлення впливу тих або інших газових сумішей на вищу нервову діяльність тварин.
2. Запропонована нами методика дозволяє в одному тривалому експерименті стежити за динамікою газообміну та умовнорефлекторною діяльністю тварин в умовах перебування в атмосфері із зміненим газовим складом.

Література

1. Александров И. С. и Цибина М. Г.— Труды Ленингр. ин-та гигиены труда и проф. заболеваний, 2, 1; Сб. работ токсикол. лаборат., Л., 1947, 4, 48.
2. Брандис С. А., Иосельсон С. А., Пиловицкая В. Н.— Физиол. журн. СССР, 1960, 46, 7, 801.
3. Григорьев З. Э.— Фармакол. и токсикол., 1960, 1, 84.
4. Жиронкин А. Г.— Труды ВМА им. С. М. Кирова, 1958, 87, 15.
5. Жиронкин А. Г., Панин А. Ф., Сорокин П. А.— Влияние повышенного парциального давления кислорода на организм человека и животных. Изд. Медицина, 1965.
6. Зильов Г. Н.— Функциональное состояние высших отделов центральной нервной системы и газовый обмен в условиях гипероксии, Дисс., М., 1956.
7. Красногорский Н. И.— Развитие учения о физиологической деятельности мозга у детей. Изд. АН СССР, Л., 1939.
8. Трошихин Г. В.— Журн. высш. нервн. деят., 1966, 16, 3, 538.
9. Федоров Викт. К.— В кн.: Методики изучения типологических особенностей животных, М., 1964, 115.

Надійшла до редакції
15.XII 1966 р.

Методики статистичної апроксимації експериментальних залежностей, що мають експоненціальний характер

(на прикладі процесу адаптації хвилинного об'єму дихання при гіпоксії)

Л. В. Бовшовська

Лабораторія фізіологічної кібернетики Інституту фізіології
ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

Останнім часом вивчення різних регуляційних систем живого організму з позицій теорії автоматичного регулювання дістає все більшого поширення.

Це пов'язано передусім з необхідністю вивчати процеси, що відбуваються в живому організмі, у взаємозв'язку зі зміною параметрів зовнішнього середовища [5].

Математичний опис явищ, що відбуваються в живому організмі, вимагає вираження характеру всіх досліджуваних процесів у вигляді числових залежностей. Внаслідок цього перехід від якісного аналізу процесів, що відбуваються у фізіологічних системах, до кількісного викликав широке застосування математичних методів і, передусім, апарата математичної статистики.

Так, якщо раніше експеримент закінчувався звичайно побудовою кривих, що відбивають деякі залежності між досліджуваними величинами, то на даному етапі розвитку науки про живе, як правило, необхідно знати аналітичний вигляд формули, що описує кількісний зв'язок між ними. Математична статистика допомагає знайти аналітичний вираз кривих за умови, що вони наближуються до певного виду — наприклад, належать до класу поліноміальних, логарифмічних або експоненціальних кривих.

Зокрема, при дослідженні експериментальних залежностей досить часто трапляються криві, які описані рівнянням експоненти або суми кількох експонент. Відомо, що експоненціальний характер процесу перебігу реакцій на вплив характерний для живого організму на всіх його рівнях: системному, органному, клітинному та визначається інерційними властивостями живих структур.

Легко показати, що в цьому випадку перехідні процеси описуються рівняннями експонент. Крім того, можливі й інші випадки вибору експонент як апроксимуючих кривих, ґрунтуючись на самому вигляді експериментально одержаної залежності або на загальних міркуваннях про характер досліджуваних залежностей. Так, наприклад, при застосуванні методу терморозведення або ізотопного методу для визначення величини хвилинного об'єму кровотоку, при вивченні закону розподілу міжімпульсних інтервалів у працях, пов'язаних з дослідженням імпульсної активності нейронів, при визна-

ченні залежності між інтенсивністю фізичної праці та кисневими потребами організму тощо. У деяких випадках кількість експоненціальних доданків можна визначити заздалегідь, в інших — відомо лише, що крива може бути описана сумою експонент. Часто відновлення рівняння кривої за одержаними експериментальними точками ускладнюється обмеженою кількістю точок і низькою точністю їх визначення. У цьому випадку особливого значення набуває можливість вибору найбільш адекватного методу апроксимації експериментальної кривої у відповідності з особливостями оброблюваного матеріалу. Метою цього дослідження було порівняння деяких методів математичної апроксимації експериментальних залежностей, що мають гаданий експоненціальний характер, і вироблення рекомендації по вибору найбільш вдалого методу апроксимації, адекватного характеру одержаних експериментальних даних.

Для прикладу розглянемо апроксимацію перехідного процесу хвилинного об'єму дихання та вмісту кисню в артеріальній крові, записані при дослідженні процесу адаптації зовнішнього дихання до гіпоксії.

Наведемо спочатку простіший приклад, коли ми шукаємо рівняння апроксимуючої кривої у вигляді однієї експоненти: $y = A + De^{-kx}$ (1). Тут передбачається, що величини A , D та k невідомі. Найскладнішим в даному випадку було визначення A . Це викликано тим, що, з одного боку, не завжди можна провадити спостереження при великих значеннях x , а з іншого боку, обмежена точність вимірювального приладу не дозволяє звичайно досить точно знаходити величину різниці між значеннями $y(x_n)$ і $y(x_{n+1})$ при великому n . Внаслідок цього звичайно в літературі рекомендують графічні методи визначення A . Так, наприклад [8], пропонують будувати графіки функцій $f_i(x) = \ln(y - A_i)$ і обирати серед значень A_i ($i = 1, 2, \dots$) таке, при якому одержана функція $f_i(x)$ на напівлогарифмічному папері найбільш близька до прямої лінії. Вказівок щодо визначення ступеня близькості одержаної функції до прямої лінії не наведено.

Крім того наближене значення A можна визначити з такої формули:

$$A = \frac{y_2^2 - y_1 y_3}{2y_2 - (y_1 + y_3)}, \quad (2)$$

де y_1, y_2, y_3 — емпіричні значення функції, взяті через рівні інтервали.

Легко впевнитися, що якщо точність вимірювального приладу залишається незмінною, то обчислення A за наведеною формулою при малих значеннях x дає більш точні результати, ніж при великих. Обираючи різні сполучення y_1, y_2, y_3 , можна одержати ряд різних оцінок A , які при дальшому усередненні дають шукану оцінку величини асимптоти A .

З іншого боку, користуючись графічним методом визначення асимптоти, необхідно брати до уваги, що при великих значеннях x навіть малі зміни функції $y(x)$, наприклад, зумовлені точністю вимірювального приладу, викликають значні зміни функції $f_i(x)$, отже значні відхилення точок $f_i(x_j)$ від прямої лінії. Щоб уникнути впливу цього фактора, можна рекомендувати проведення навколо кожної точки графіка «довірчого інтервалу» з верхню межу $\ln[y_j + (h + E)]$ і нижню — $\ln[y_j - (h + E)]$, де h — половина поділки вимірювального приладу, а E — імовірна похибка визначення середнього значення величини y_j за кількома паралельними вимірюваннями. У цьому випадку кожна пряма, що проходить через усі довірчі інтервали, при даній асимптоті даватиме задовільну оцінку величин k і D .

Дальшим кроком при визначенні апроксимуючої функції є знаходження k і D . Найпростіше провадити визначення графічним способом. При цьому величина k дорівнює тангенсу кута нахилу нашої прямої лінії до осі ОХ, а величина D — антилогарифму функції $f(x)$ при $x=0$.

Більш точним способом можна виявити значення k з співвідношень $k = \frac{y_i + y_{i+m}}{x_i - x_{i+m}} (3)$.

Здійснивши кілька визначень k по різних точках та усереднивши одержані дані, ми одержимо більш точну оцінку величини k . Тоді величину D можна оцінити з співвідношення $k = \frac{\ln(y-D) + kx}{x} (4)$. При цьому слід мати на увазі, що найдоцільніше обчислювати k по ділянці наближеної лінійності функції $f(x)$, що визначають візуально.

Нарешті найпоширенішим методом визначення k і D є метод найменших квадратів. Суть його зводиться до визначення коефіцієнтів рівняння регресії з параметрами k і D за експериментальними даними. Для цього необхідно скласти і розв'язати таку систему двох рівнянь:

$$na + b \sum x_i = \sum (y_i - A), \quad a \sum x_i + b \sum x_i^2 = \sum (y_i - A) x_i \quad (5)$$

Після розв'язання системи значення D знаходять як антилогарифм величини a .

Нарешті існує ще один метод розв'язання рівняння $y = A + De^{-kx}$, не пов'язаний з графічними розрахунками і з переходом до логарифмів. Суть його полягає в тому, що функція y зображається у вигляді $y = A + D(1 - \frac{kx}{1!} + \frac{k^2 x^2}{2!} - \frac{k^3 x^3}{3!} + \dots)$, тобто у виг-

ляді поліноміальної функції, потім визначають коефіцієнти розкладу за методом найменших квадратів. При цьому точність одержаних коефіцієнтів залежить від кількості членів ряду, що беруть для обчислення значень y . Оскільки цей метод не пов'язаний з переходом до логарифмів, його застосування більш доцільне для випадків, коли експериментальні значення y здобуваються з малою точністю. Проте, при його застосуванні слід мати на увазі, що ряд $\sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{(kx)^i}{i!}$ збігається повільно і тому для досягнення великої точності необхідно брати велику кількість членів ряду, що приводить до збільшення кількості лінійних рівнянь у системі, застосованій для визначення необхідних параметрів.

У зв'язку з цим постає питання про оцінку точності апроксимації. Як відомо, дисперсію експериментальних точок навколо знайденої прямої регресії можна поділити на дві складові — зумовлену похибкою визначення експериментальних точок і зумовлену відхиленням істинного рівняння регресії від прямої лінії.

Питання про лінійність рівняння регресії розв'язується порівнянням цих двох дисперсій за критерієм Фішера, питання про точність апроксимації розв'язується визначенням загальної дисперсії експериментальних точок навколо теоретичної лінії регресії [7].

На жаль, слід відзначити, що така оцінка придатна лише для лінійних зв'язків, тобто для визначення точності проведення прямої лінії у напівлогарифмічній шкалі координат. При переході до рівномірної шкали одержані співвідношення сильно порушуються, і внаслідок цього згаданий розрахунок можна здійснити у рівномірній шкалі. Вигляд формул при цьому не змінюється.

Порівняння кількох різних апроксимацій можна здійснити за критерієм Фішера. Іншим способом для визначення точності підбору для кривих регресії виражених поліномами, може бути метод, рекомендований Юлом і Кенделом [10]. Це обчислення коефіцієнта кореляції між реальними і теоретично передбаченими значеннями y_i .

Нарешті, крім цього можна провадити дослідження на випадковість розкиду точок відносно кривої, що апроксимує їх з допомогою критерію q^2 , описаного в літературі [3].

Розглянемо застосування наведених методів на прикладі. Для вихідних даних були взяті результати дослідження однорідної групи юнаків-спортсменів, одержані Ельбурською експедицією, організованою відділом вікової фізіології Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця АН УРСР у 1965 р.

Досліджували експериментально одержані криві перехідного процесу зміни ХОД та вмісту кисню в артеріальній крові, F_{aO_2} , що відбувається в організмі під впливом ступінчатого збурення, викликаного моментальною зміною вмісту кисню у вдихуваному повітрі з 16% (при парціальному тиску кисню у вдихувальному повітрі в 120 мм рт. ст.) до 10% (дані одержані на висоті 2200 м над рівнем моря і перераховані на величину нормального атмосферного тиску).

Реєстрували величину дихальних об'ємів, частоту дихання і насичення киснем артеріальної крові протягом 3—4 хв після початку дії збурення, тобто практично до переходу їх у новий усталений стан.

Заздалегідь провели усереднення вихідних даних у порівнюваній групі та згладження одержаної сумарної кривої за методом ковзної середньої за трьома точками [8].

За значеннями F_{aO_2} і кривої дисоціації гемоглобіну була побудована крива зміни парціального тиску кисню в артеріальній крові p_{aO_2} . Порівняння одержаних кривих з літературними даними [4, 6] виявляє їх однотипність.

Грунтуючись на сучасних фізіологічних концепціях про роль парціального тиску кисню артеріальної крові в регуляції дихання, і вважаючи, що система цієї регуляції замкнена, та виходячи з форми кривих зміни ХОД і p_{aO_2} , ми шукаємо апроксимуючі рівняння експериментально одержаних перехідних процесів у вигляді суми експонент із спільними постійними часу (для ХОД і p_{aO_2} [9]):

$$y_j = \sum_{i=1}^2 C_{ij} e^{-k_{ji}t} + A_j \quad \begin{matrix} j=1 \text{ для ХОД} \\ j=2 \text{ для } p_{aO_2} \end{matrix} \quad (7)$$

Проте, розглядаючи криву перехідного процесу p_{aO_2} за її формою, можна припустити, що вона добре апроксимується рівнянням однієї експоненти, тобто один з коефіцієнтів C_{i2} малий порівняно з другим, а показник ступеня відносно великий, що приводить до швидкого зменшення його впливу. Звідси, нехтуючи одним з компонентів у відповідному рівнянні, шукаємо апроксимацію теоретичної кривої у вигляді [9]:

$$y_2 = C_{12} e^{-k_{12}t} + A_2 \quad (8)$$

Емпірично виведені значення p_{aO_2} показані точками на рис. 1. Для визначення величини асимптоти A_2 ми заздалегідь аналітично визначаємо асимптоту за формулою, наведеною нами на початку статті. Усереднюючи ряд одержаних значень A_{m2} по різних

наборах трійок y_1, y_2, y_3 , ми одержуємо приблизне значення асимптоти A_2 . Для уточнення цього значення беремо ряд значень $A_2 = 35,5; 35,9; 36,5; 36,9; 37,5$. Точки $\lg(y_i - A_2)$ на напівлогарифмічному папері сполучаємо відрізками прямих та шукаємо пряму, що найближче прилягає до даних точок. Як видно з рис. 2, найближча до прямої

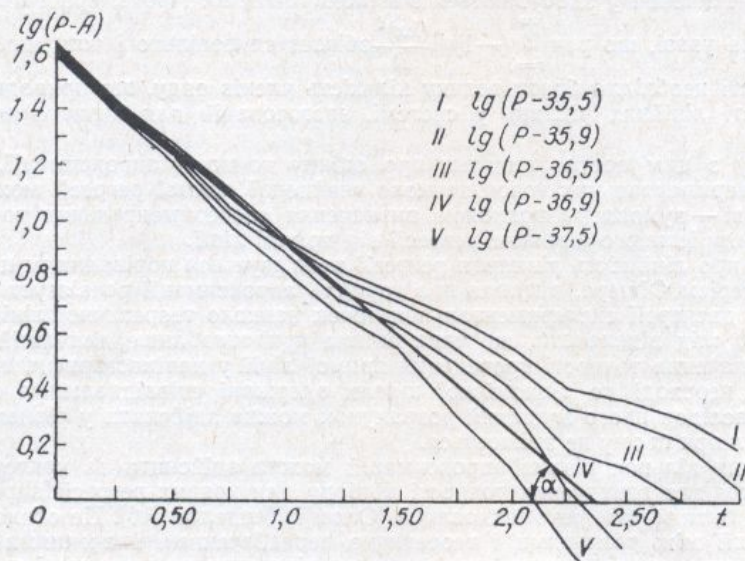


Рис. 1. Апроксимація перехідного процесу зміни парціального тиску кисню в артеріальній крові залежно від часу. По вертикалі — величина парціального тиску, по горизонталі — час у хвилинах.

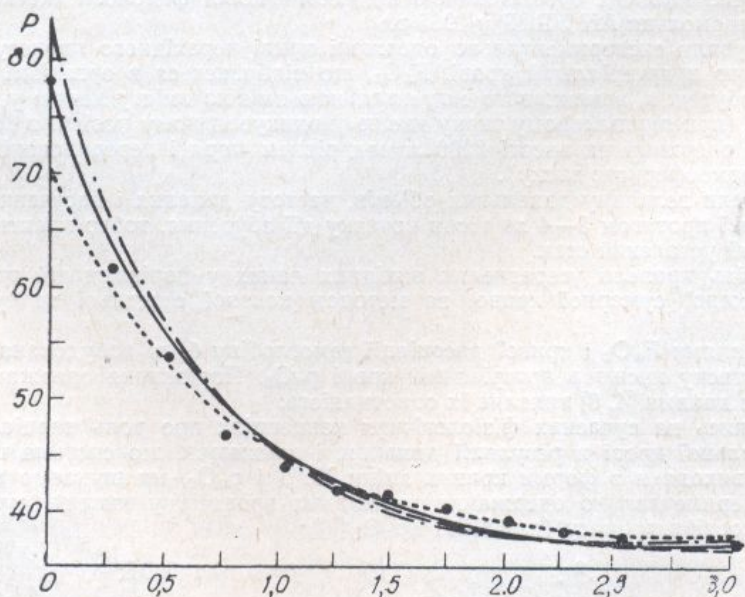


Рис. 2. Графік залежності логарифма парціального тиску кисню в артеріальній крові від часу при різних значеннях асимптоти.

лінії ламана, що відповідає $A_2 = 36,9$. Приймаючи, що вірогідна похибка кожного вимірювання не перевищує 1%, ми відкладаємо по обидва боки від кожної точки відповідні довірчі інтервали.

З урахуванням масштабу знаходимо величину tga , що дорівнює 0,842. Зводячи одержану величину до показника ступеня при основі натуральних логарифмів (помноженням на 2,3026) і знаходячи антилогарифм (десятковий) перетину спрямленої ламаної з віссю ординат, одержуємо рівняння аналізованої кривої у вигляді:

$$P = 40, 1e^{-1,567t} + 36,9 (9).$$

На рис. 2 одержана крива зображена суцільною лінією. Тепер знайдемо рівняння кривої аналітичним методом. Грунтуючись на тій самій величині асимптоти, що дорівнює 36,9, знаходимо ряд значень k на ділянці найбільшої лінійності емпіричної ламаної за формулою (3). Після усереднення одержуємо оцінку $\text{tga}=0,612$, що відповідає $K=+1,41$.

Отже, ми з допомогою графоаналітичного методу приходимо до рівняння: $P=40,1e^{-1,41t}+36,9$ (10), що описує криву, показану на рис. 2 пунктирною лінією.

При використанні методу найменших квадратів для виведення рівняння ми повинні розв'язати систему нормальних рівнянь (5):

$$16,1381=13a+19,5v,$$

$$4,9502=19,5a+40,625v,$$

де

$$a=\ln C_2, \quad v=k_2.$$

Вирішення системи має вигляд $a=3,78$; $v=-1,69$, що приводить до рівняння $P=43,85e^{-1,693t}+36,9$ (11).

Крива, що відповідає цьому рівнянню, зображена на рис. 2 штрих-пунктирною лінією.

Спробуємо визначити коефіцієнти шуканого рівняння з допомогою поліноміальної апроксимації.

Обмежуючись трьома членами розкладу в ряд рівняння e^{-kt} , одержуємо $(P-A_2) \approx C - Ckt + \frac{C}{2} k^2 t^2$ (12).

Звідси, застосовуючи метод найменших квадратів [5], шукаємо розв'язання системи нормальних рівнянь:

$$116,6=13a+19,5v+40,625c$$

$$58,325=19,5a+40,625v+95,0625c$$

$$70,3438=40,625a+95,0625v+237,1484c,$$

(13)

де:

$$a=C, \quad v=-Ck, \quad c=\frac{C}{2} k^2.$$

Розв'язуючи цю систему методом Гауса [2], одержуємо: $a=34,13588$; $v=-31,6134$; $c=7,121715$.

Звідси визначаючи tga як середнє по двох значеннях з двох останніх рівнянь системи (13), одержуємо: $k=0,926$, або $P=34,14e^{-0,926t}+36,9$ (14).

Крива, описувана цим рівнянням, показана на рис. 2 точковою лінією.

Отже, ми маємо чотири рівняння, одержані чотирма різними методами. На рис. 2 показано, що найкращий збіг з емпіричними токами дає крива, одержана графічним методом. Щоб перевірити цей висновок, ми обчислюємо дисперсії точок щодо теоретичних кривих регресії за формулою: $S^2 = \frac{\sum a^2}{n-2}$, де a — відхилення експериментальних значень від значень, «приписуваних» даній кривій при тих самих значеннях абсциси, n — кількість експериментальних точок.

Одержані чотири дисперсії порівнюють з допомогою критерію Фішера. Якщо відношення більшої дисперсії до меншої перевищує критичне значення, що дорівнює $F_{(12,12)5\%}=2,7$, то ми змушені визнати, що розглянута відмінність дисперсій не випадкова (вірогідність похибки не перевищує 5%), і, отже, апроксимація, одержана з допомогою методу, що дає більшу дисперсію, гірше другої, розглядуваної апроксимації.

Для графічного методу апроксимації $\sigma=1,12$; для графоаналітичного — $\sigma=1,68$. Для апроксимації за методом розкладу в ряд $\sigma=4,81$; для апроксимації за методом найменших квадратів $\sigma=4,23$.

Як видно з порівняння цих дисперсій, обидва перших методи дають практично незначимо відмінні результати, а обидва других — гірші, але майже незначимо відмінні. Це може бути легко обгрунтовано. Дійсно, при користуванні двома першими методами ми орієнтуємось на ту частину ламаної, яка максимально близька до прямої лінії, а в зв'язку з непропорціональністю шкали логарифмів ці точки для однієї експоненти знаходяться в ділянці початкових значень кривої, тобто будуть добре апроксимувати криву в ділянці різкої зміни її значень.

Метод найменших квадратів, не беручи до уваги факту непропорціональності шкали логарифмів, в зв'язку з цим, мінімізує суму квадратів відхилень не експериментальних точок від апроксимованої кривої, а логарифмів їх ординат від прямої, що приводить до значно більшого розкиду точок навколо теоретичної кривої в ділянці швидкого зниження експоненти. Нарешті, методу апроксимації з допомогою розкладу в ряд властива, як уже було відзначено, недостатня точність в зв'язку з малою кількістю членів розкладу. Проте його застосування може бути продиктовано міркуваннями, пов'язаними з більш значним розкидом точок навколо гіпотетичної експоненти, ніж у розглядуваному нами випадку.

У кінцевому підсумку ми можемо рекомендувати при апроксимації спостережень з допомогою однієї експоненти користуватися графоаналітичним методом з винесенням результатів на графік з дальшою візуальною перевіркою.

У тих випадках, де необхідна підвищена точність, візуальну перевірку можна доповнити перевіркою за способом натягнутої нитки або за способом середньої [1].

Тепер ми перейдемо до розгляду більш складного випадку — апроксимації експериментальної кривої з допомогою суми двох експонент.

Складність цього завдання полягає в тому, що експериментальні точки на напівлогарифмічному графіку в цьому випадку не розташовуватимуться навколо деякої

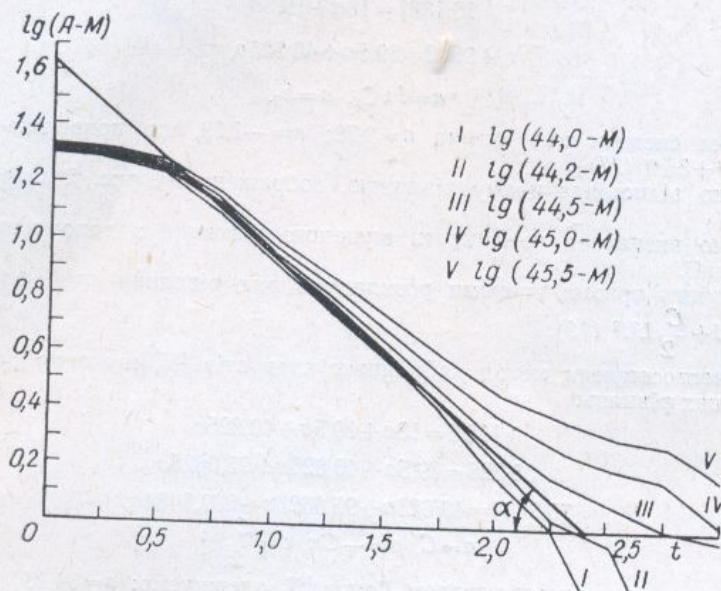


Рис. 3. Графік залежності логарифма ХОД від часу при різних значеннях асимптоти.

прямой лінії і, отже, одержання точного рівняння апроксимуючої кривої ускладнено. Найоптимальнішим за цих умов був би метод визначення рівняння апроксимуючої кривої з допомогою розкладу в ряд суми двох експонент, але на практиці визначення параметрів обох компонент рівняння пов'язано із значними ускладненнями, тому що приводиться до розв'язання нелінійних систем рівнянь.

У цьому зв'язку необхідно внести полегшуюче припущення, що один з показників ступеня при експоненті значно більше другого при приблизній рівності коефіцієнтів. У цьому випадку нелінійність експериментальної кривої

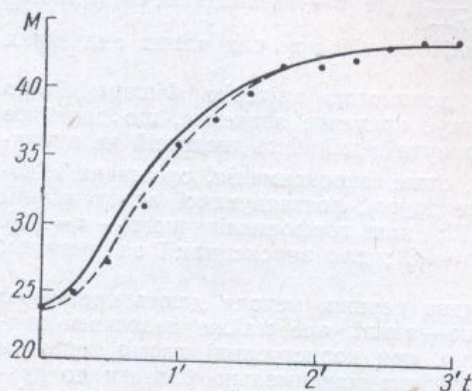


Рис. 4. Апроксимація перехідного процесу зміни хвилинного об'єму дихання залежно від часу.

По вертикалі — величина ХОД (в перерахунку на 15 сек), по горизонталі — час у хвилинах.

особливо чітко виділятиметься в ділянці малих значень аргумента і швидко зменшуватиметься в міру його росту. Тоді можна, користуючись графічним методом, визначити ділянку наближеної лінійності експериментальної кривої, визначити одним із трьох описаних методів параметри експоненціальної компоненти з меншим показником, потім від значень, одержаних в експерименті, відняти значення, приписані за графіком постійної експоненти, а залишені значення повторно апроксимувати рівнянням експоненти з іншим показником ступеня.

Так, наприклад, рівняння перехідного процесу зміни величини хвилинного об'єму дихання, за описаних вище умов, розв'язується у вигляді: $M = A - D_1 e^{-k_1 t} + D_2 e^{-k_2 t}$ (16). На графіку, складеному в напівлогарифмічних координатах (див рис. 3), чітко

видно, що ділянка наближеної лінійності перебуває в межах $=0,75-2,25$. Перевіряючи ряд значень асимптот графічним методом, знаходимо, що асимптота наближено дорівнює $A=44,2$. Тоді, за літературними даними [8], ми можемо знайти за ділянкою лінійності $k_1=1,57$ і відповідне $D_1=37,5$.

По значеннях k і A при кожному значенні t можна скласти рівняння: $Z_i = M_i - A + D_1 e^{-k_1 t}$ (17).

Значення Z_i визначають поведінку другої компоненти (16). Так $Z(0)=17,3$; $Z(\infty)=0$.

За цими даними знаходимо рівняння другої компоненти: $k=3,78$; $D_2=17,3$. Тоді: $M=44,2-37,5e^{-1,57t}+17,3e^{-3,78t}$. Це рівняння описує криву, представлену на рис. 4 суцільною лінією.

Одержані результати можна знайти і графоаналітичним способом. Грунтуючись на тому ж значенні асимптоти, по різних значеннях y , розташованих на ділянці лінійності, обчислюємо $k_1=1,577$. Тоді з (4) виходить, що $D_1=42,66$. Отже шукане рівняння набуває вигляду $M=44,2-42,66e^{-1,577t}+D_2e^{-k_2t}$ (18). Шляхом підстановок знаходимо значення $D_2e^{-k_2t}$. Знаходячи їх логарифми, за формулою (3) визначаємо $k_2=3,983$ і за формулою (4) $D_2=22,4$.

Остаточне рівняння набуває вигляду: $M=44,2-42,66e^{-1,577t}+22,4e^{-3,983t}$ і крива, описана ним, показана на рис. 3 пунктирною лінією.

Дисперсія точок навколо першої кривої дорівнює $\sigma=1,622$, навколо другої — $\sigma=0,471$. Оскільки відношення дисперсій перевищує критичну величину 2,7, то в даному випадку ми змушені визначити, що апроксимація, одержана з допомогою графічного методу, краща, ніж одержана графоаналітичним шляхом.

Проте, ця рекомендація не є, видимо, безумовною і пов'язана зі складністю аналітичного визначення ділянки наближеної лінійності.

В силу цього ми рекомендуємо застосування обох методів паралельно.

Література

1. Гутер Р. С. и Овчинский Б. В.— Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта, Физматгиз, 1962.
2. Демидович Б. П. и Марон И. А.— Основы вычислительной математики, М., Ф—М, 1963.
3. Дунин-Барковский И. В. и Смирнов Н. В.— Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть) ГИТТЛ, М., 1955.
4. Колчинская А. З.— Недостаток кислорода и возраст. К., «Наукова думка», 1964.
5. Колчинская А. З., Лауэр Н. В., Шкабара Е. А.— В сб.: Кислородный режим организма и его регулирование, К., «Наукова думка», 1966.
6. Маршак М. Е.— Регуляция дыхания у человека, М., 1961.
7. Налимов В. В.— Применение математической статистики при анализе вещества. М., Физматгиз, 1960.
8. Плохинский Н. А.— Биометрия. СО АН СССР, 1961.
9. Шкабара Е. А.— В сб.: Моделирование в биологии и медицине, К., «Наукова думка», 1967.
10. Юл Дж. Э. и Кендэл М. Дж.— Теория статистики. М., Госстатиздат, 1960.

Надійшла до редакції
17.III 1966 р.

Механотронний електроманометр для кімографічної реєстрації тиску в порожнинах серця

П. П. Столітній, О. О. Мойбенко

Лабораторія патології кровообігу Інституту фізіології
ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ

При вивченні діяльності серцево-судинної системи часто виникає необхідність в одночасній і синхронній реєстрації цілого комплексу показників гемодинаміки: артеріального тиску, тиску в порожнинах серця і магістральних судинах, венозного тиску, гідралічного опору судин різних органів (резистограм) тощо.

Одним з поширених методичних прийомів, використовуваних для цієї мети, є багатоканальний кімографічний запис за допомогою блоку манометрів. Найбільші утруд-