

Аналіз електрокардіограм за допомогою електронної лічильної машини

М. О. Куликов, І. К. Следзевська

Група кібернетики Інституту фізіології ім. О. О. Богомольця Академії наук УРСР;
Український науково-дослідний інститут клінічної медицини
ім. акад. М. Д. Стражеска, Київ

Спроби об'єктивізації медичного діагнозу викликаються прагненням, по можливості, запобігти помилкам, в основі яких лежать неправильні визначення й оцінка симптомів, а іноді кваліфікація лікаря, що ставить діагноз. Досвід показує, що в різних лікувальних закладах часто застосовуються як різні методики дослідження, так і різні критерії для фіксації симптомів і навіть різні оцінки важливості тих чи інших симптомів. Тому набуває великого значення проблема уніфікації методів обслідування і принципів аналізу одержаних даних.

Природно, що при встановленні об'єктивного діагнозу найбільшого значення слід надавати результатам об'єктивних досліджень — таких, як електрокардіографія, фонокардіографія, запис кривої внутрішнього тиску, електроенцефалографія тощо. Проте при аналізі цих кривих дуже часто вносять елемент суб'єктивізму.

В Академії наук УРСР в 1956 р. групою співробітників під керівництвом М. М. Амосова, Б. В. Гнеденка і К. О. Шкабари були розпочаті роботи, які мали своїм завданням знайти шляхи до об'єктивізації медичного діагнозу [1, 2, 3]. Наша мета полягає в тому, щоб ознайомити читачів з рядом праць, спрямованих до автоматичного аналізу електрокардіограм, до яких було приступлено в 1956 р., а також з роботами, виконаними в 1961—1962 рр. співробітниками групи фізіологічної кібернетики Інституту фізіології АН УРСР і Українського інституту клінічної медицини.

Ми не ставили перед собою завдання розробити повну програму дешифрування, оцінки й опису ЕКГ при всіх захворюваннях, з якими можна зустрітися на практиці, а мали на меті дослідити принципіальну можливість побудови такої програми і встановити її придатність для ряду конкретних випадків. Тому ми визнали можливим піти на деякі спрощення непринципального характеру при введенні електрокардіограм в машину й обмежитись дослідженням лише деяких порушень серцевого ритму, які зустрічаються особливо часто.

В розглядуваному варіанті алгоритму в машину автоматично вводять відрізок ЕКГ тривалістю 4—5 сек., знятої в другому класичному відведенні. При цьому вводжуванa електрокардіограма має відповідати таким основним вимогам: 1) швидкість реєстрації ЕКГ повинна бути сталою; 2) товщина кривої нiде не має перевищувати 1 мм (0,1 мВ); 3) розглядувана частина плівки не повинна мати артефактів і наведень, вищих за 0,5 мм.

Ми припускаємо, що в разі відсутності екстрасистолії у другому класичному відведенні найбільшу амплітуду має зубець R. Це припу-

щення дає нам можливість з найбільшою простотою визначати наявність порушень ритму серцевої діяльності обслідуваного, а також відстань RR .

Принцип роботи алгоритму полягає ось у чому: за допомогою спеціального ввідного пристрою знімають висоти кривої над ізоелектричною лінією через 0,015—0,010 сек. і вводять у пам'ять машини. При такій частоті визначення висот точок похибка у визначенні висоти зубця не перевищуватиме 0,5 мм (0,05 мВ), що й прийнято нами за мінімальну точність вимірювання. Потім, порівнюючи висоти послідовних точок, можна визначити моменти відхилення кривої від ізолінії і моменти її повернення на ізолінію. Звідси легко визначити висоти зубців, тривалість зубців і інтервалів електрокардіограми і форму деяких елементів кривої. Порівнюючи дані, одержані для того самого елемента кривої в різних комплексах та усереднюючи їх при правильному ритмі, ми можемо видати на друк усі цікаві для нас характеристики параметрів досліджуваної електрокардіограми.

Далі, знаючи висоту і ширину зубців і їх розташування всередині комплексів електрокардіограми і порівнюючи їх між собою, ми можемо зробити висновок про характер порушення ритму серцевої діяльності.

Тепер в результаті аналізу електрокардіограми на друк видаються такі величини:

- а) довжина відрізків RR , PP , $PQ(R)$ в секундах;
- б) ширина зубців P , Q , комплексу QRS і величина відрізка QT , обчислена за формулою $QT=0,4\sqrt{RR}$;
- в) величина зубців P , Q , R в міліметрах.

Крім цього, визначається вигляд зубця P і, в разі необхідності, на друк видається одна або кілька з таких характеристик:

« R двофазний $\pm$ », « P двофазний $\pm$ », « P високий», « P низький», « P мітральний» і « P широкий».

При видачі цих характеристик вважалось, що зубець P в нормі має ширину до 0,10 сек. і висоту в межах від 0,5 до 2 см; двофазність визначалась при наявності на інтервалі TQ двох послідовних екстремумів різного знаку на відстані, меншій від 0,06 сек.

Крім зазначених характеристик елементів досліджуваної електрокардіограми, на друк видаються такі характеристики ритму [4, 5, 6].

I. Шлуночкова екстрасистоля. Ознакою наявності шлуночкової екстрасистоли вважається наявність на досліджуваному відрізку електрокардіограми 1—2 головних максимумів, які відрізняються від найближчих до них за висотою максимумів на величину, яка перевищує 0,1 мВ. При наявності шлуночкової екстрасистоли дослідження закінчується.

II. Неправильний шлуночковий ритм. Діагноз ставиться в тому випадку, якщо відхилення довжин комплексів RR , тобто відстаней між головними максимумами на ЕКГ, від свого середнього значення хоч би для одного комплексу перевищать 0,10 сек. На цьому дослідження припиняється.

III. Правильний шлуночковий ритм. Електрокардіограма має звичайний характер. При правильному ритмі дослідження електрокардіограми продовжується і ставиться один (або кілька спільних) з таких діагнозів:

- 1. Брадикардія (довжина RR змінюється від 1 до 1,2 сек.).
- 2. Нормальний ритм ($0,6 \text{ сек.} \leq RR \leq 1,0 \text{ сек.}$).
- 3. Тахікардія ($0,38 \text{ сек.} \leq RR < 0,6 \text{ сек.}$).
- 4. Пароксизмальна тахікардія ($RR < 0,38 \text{ сек.}$).

5. Внутріпередсердна блокада. Ширина зубця P перевищує 0,10 сек., висота зубця P не більше 0,2 мв і P розщеплений, тобто має два максимуми.

6. Сповільнення передсердно-шлуночкової провідності. Довжина інтервалів PQ або PR лежить в межах від 0,20 до 0,25 сек.

7. Неповна атріовентрикулярна блокада I ступеня. Довжина інтервалу PQ перевищує 0,25 сек., кількість зубців P дорівнює кількості комплексів QRS .

8. Неповна передсердно-шлуночкова блокада типу $n:1$. Діагноз ставиться в тому випадку, якщо ритм передсердь більш частий, ніж ритм шлуночків, величина PQ постійна і відношення кількості зубців P до кількості комплексів QRS дорівнює n .

9. Повна передсердно-шлуночкова блокада. Ритм передсердь більш частий, ніж ритм шлуночків. Інтервал PQ має несталу величину.

10. Вузловий ритм I типу.

а. Ритм коронарного синуса або з верхньої частини вузла. Зубець P в II відведенні негативний і знаходиться перед QRS .

б. З середньої частини вузла. Зубець P відсутній.

в. З нижньої частини вузла. Зубець P негативний і знаходиться між зубцями P і T .

Для підтвердження будь-якого з цих діагнозів необхідний аналіз кількох відведень.

11. Сповільнення внутрішлуночкової провідності. Діагноз ставиться при розширенні комплексів QRS від 0,10 до 0,12 сек.

12. Блокада ніжки пучка Гісса. Розширення комплексів QRS понад 0,12 сек. при величині R більше 5 мм.

13. Блокада кінцевих розгалужень внутрішлуночкової провідної системи. Розширення QRS понад 0,12 сек. при величині R не більше 5 мм.

14. Необхідне додаткове дослідження. Цей діагноз ставиться в усіх інших випадках, не передбачених програмою.

Робота за програмою провадиться в такому порядку: спочатку визначають наявність головних максимумів кривої на досліджуваному відрізку. Ці максимуми порівнюють між собою і визначається їх кількість. Якщо на досліджуваному відрізку ЕКГ є всього один-два «викиди», які різко відрізняються за своєю висотою від решти максимумів на кривій, то їх з великою імовірністю можна вважати результатом екстрасистол. В протилежному разі за відстанню між максимумами визначаються ритм скорочень серця і довжина серцевого циклу досліджуваного.

На теперішньому етапі роботи, урахувавши обмеженість нашого завдання, ми не займались аналізом форми і вигляду зубців S і T та інтервалу ST , тому надалі ми дослідимо лише зміни кривої на відрізку TR , визначуваному за формулою $TR = RR - 0,4 \sqrt{RR}$. Природно, що це спрощення не має принципіального значення і його легко можна зняти.

Потім провадиться підрахування екстремумів на кожному з досліджуваних відрізків кривої і залежно від кількості і вигляду екстремумів на кожній ділянці TR робляться висновки про наявність і вигляд зубця P , про наявність зубця Q , про наявність блоків, блокод або вузлового ритму. При наявності вузлового ритму з нижньої частини вузла досліджують і характер кривої на відрізку RT .

Нарешті, після визначення вигляду і положення зубця *P* визначаються та усереднюються ширина і висота решти зубців і проводиться дослідження наявності порушень внутрішлуночкової провідності.

Як видно з викладеного, запропонований метод дає можливість визначити практично майже всі відхилення електрокардіограми від норми і в найбільш складних випадках залучити на допомогу лікаря. До позитивних якостей методу належать, крім того, його простота і наочність, а також порівняно велика швидкість встановлення електрокардіографічного діагнозу. Проте запропонований метод має той недолік, що аналіз ЕКГ повністю спирається на лікарський досвід, тобто лікар, досвід якого закладений в логічну схему програми, повинен передбачити всі можливі варіанти вигляду електрокардіограм, при яких ставиться певний діагноз, що вносить елемент суб'єктивності при машинній постановці діагнозу. Проте, незважаючи на цей недолік, запропонований метод, на нашу думку, є дуже простим і перспективним.

Щоб усунути цю суб'єктивність, тепер наша група провадить дослідження для об'єктивної оцінки значення діагностичних ознак за допомогою методу дискримінантного аналізу. В 1961 р. на електронній лічильній машині «Київ» було здійснене автоматичне виділення значимих ЕКГ симптомів для диференціальної діагностики мітральних пороків.

На початку 1962 р. програміст С. П. Хозяїнова закінчила складання програми за описаним вище алгоритмом і в квітні—травні 1962 р. в Обчислювальному центрі АН УРСР на електронній лічильній машині «Київ» були виконані перші контрольні обчислення.

Як експериментальний матеріал для перевірки придатності методу ми використали вісім електрокардіограм хворих, що лікувались в Українському інституті клінічної медицини ім. акад. М. Д. Стражеска з приводу різних порушень серцевого ритму. Дешифрування однієї електрокардіограми тривало від 1,0 до 0,5 хв. В усіх восьми випадках ми одержали діагнози, які збіглися з діагнозами, поставленими на підставі вихідних ЕКГ співробітниками Інституту клінічної медицини звичайним шляхом.

Як приклад наводимо паралельно результати звичайного й автоматичного дешифрування чотирьох електрокардіограм.

Електрокардіограма № 1. Хворий К., 25 років.

Звичайне дешифрування	Дешифрування на ЕЛМ «Київ»
-----------------------	----------------------------

RR 1,05 — 1,10 сек.	RR 1,10 сек.
Кількість серцевих скорочень — 55 — 57 на 1 хв.	
Висота <i>P</i> 0,5 мм	Висота <i>P</i> 0,9 мм
Ширина <i>P</i> 0,07 сек.	Ширина <i>P</i> 0,075 сек.
PQ 0,14 сек.	PQ 0,15 сек.
QRS 0,07 сек.	QRS 0,075 сек.

Висновок: Синусова брадикардія.	Ритм правильний, брадикардія.
---------------------------------	-------------------------------

Електрокардіограма № 2. Хвора Кл., історія хвороби № 4125. 3.XI 1959 р.

RR 0,60 — 0,65 сек.	RR 0,65 сек.
Кількість серцевих скорочень — 92 — 100 на 1 хв.	
Висота <i>P</i> від 0,5 до 1,0 мм	Висота <i>P</i> 0,12 мв (1,2 мм)
Ширина <i>P</i> 0,10 сек.	Ширина <i>P</i> 0,10 сек.
PQ 0,17 сек.	PQ 0,15 сек.
QRS 0,15 сек.	QRS 0,125 сек.
Висота <i>R</i> _{II} 3 мм	Висота <i>R</i> _{II} 2 мм

Висновок: Блокада ніжки пучка Гісса.	Блокада ніжки пучка Гісса.
--------------------------------------	----------------------------

Електрокардіограма № 3. Хвора Н., історія хвороби
№ 705. 26.II 1958 р.
(I відведення)

RR 1,60—1,65 сек.	RR 1,65 сек.
Кількість шлуночкових скорочень 36 на 1 хв.	
PP 0,85 сек.	PP 0,825 сек.
Кількість передсердних скорочень 70 на 1 хв.	
Висота зубця P 0,5 мм	Висота зубця P 1 мм
Ширина зубця P 0,09 сек.	Ширина зубця P 0,08 сек.
PQ 0,05 сек.	PQ 0,05 сек.
QRS 0,08 сек.	QRS 0,075 сек.
Висота R 8 мм	Висота R 7,7 мм

Висновок: Неповна атріовентрикулярна блокада 2:1.

Ритм правильний, брадикардія, неповна атріовентрикулярна блокада 2:1.

Електрокардіограма № 4. Хвора В., 1959 р.

RR 0,72—0,76 сек.	RR 0,76 сек.
Кількість серцевих скорочень — 80—84 на 1 хв.	
Ширина P 0,10 сек.	Ширина P 0,10 сек.
Висота P 1,5 мм	Висота P 1,7 мм
PQ 0,16 сек.	PQ 0,16 сек.
QRS 0,08 сек.	QRS 0,08 сек.
R 12 мм	R 9,5 мм

Висновок: Ритм коронарного синуса або атріовентрикулярний вузловий ритм з верхньої частини вузла.

Ритм правильний. Ритм коронарного синуса або атріовентрикулярний вузловий ритм з верхньої частини вузла.

Довжини всіх інтервалів при машинному дешифруванні визначались з точністю, не меншою від 0,025 сек., а висоти зубців — з точністю до 0,7 мм.

Як видно з наведених результатів, діагнози, поставлені при звичайному і машинному дешифруванні, збігаються, а розбіжність у визначенні параметрів зубців і інтервалів ЕКГ незначна.

Слід відзначити, що хоч програма в нинішньому її вигляді не може бути застосована для масового дешифрування ЕКГ в зв'язку з порівняно вузьким колом встановлюваних діагнозів, при дальшій її розробці, безумовно, можна буде домогтися швидкого і безпомилкового автоматичного дешифрування будь-якої електрокардіограми і встановлення не тільки діагнозу порушення ритму, а практично будь-якого діагнозу.

Схожі методи аналізу можна буде застосувати і при розшифруванні інших даних об'єктивного дослідження серцевої діяльності, наприклад при аналізі фонокардіограми, балістокардіограми, кривої внутрісерцевого тиску тощо. В цьому зв'язку тепер співробітники нашої групи проводять дальші дослідження, спрямовані на полегшення введення вихідних даних в машину, спрощення логічних схем програм діагнозу, синхронізацію в часі різних кривих і ін.

На закінчення автори висловлюють глибоку вдячність інженеру-програмісту С. П. Хозяїновій, молодшому медичному персоналу і обчислювачам, які брали участь у цій роботі.

ЛІТЕРАТУРА

- Шкабара К. О., Фізіол. журн. АН УРСР, т. VIII, № 6, 1962.
Шкабара К. О., Хозяїнова С. П., Автоматика, № 4, 1962.
Куликов М. О., Автоматика, № 5, 1961.
Дехтярь Г. Я., Електрокардиография, 1955.

Незлин В. Е. и Карпай С. Е., Анализ и клиническая оценка электрокардиограммы, 1959.

Фогельсон Л. И., Клиническая электрокардиография, 1957.

Надійшла до редакції
14.III 1962 р.

Анализ электрокардиограмм с помощью электронной вычислительной машины

М. А. Куликов, И. К. Следзевская

Группа кибернетики Института физиологии им. А. А. Богомольца Академии наук УССР;
Украинский научно-исследовательский институт клинической медицины
им. акад. Н. Д. Стражеско, Киев

Резюме

Современный уровень развития кибернетики и математики позволяет решить задачу объективизации медицинского диагноза, т. е. создания аппарата или группы аппаратов, облегчающих устранение возможных субъективных ошибок и постановку правильного диагноза.

В статье изложены результаты по осуществлению автоматического анализа электрокардиограмм с помощью электронной вычислительной машины.

Алгоритм анализа электрокардиограммы предусматривает введение в машину участка электрокардиограммы, снятой во II классическом отведении и автоматический анализ его с выдачей на печать длины интервалов RR , PP , PQ (или PR) в секундах, ширины зубцов PQ и комплекса QRS в секундах, величины зубцов PQ и R в милливольтках и характеристики формы зубца P . Кроме того, в результате анализа на печать выдается характеристика ритма для некоторых наиболее часто встречающихся нарушений ритма и в норме, а также в случаях, не предусмотренных программой, выдается сигнал о необходимости дополнительного исследования.

Длительность анализа одной кривой на электронной машине «Киев» составляет от 0,5 до 1 минуты.

В статье изложен общий принцип построения алгоритма, дано краткое его описание, а также приведены результаты пробного анализа нескольких электрокардиограмм и параллельно данные обычного анализа тех же кривых.

Сравнение данных показывает хорошее совпадение характеристик, определенных автоматически, с характеристиками, полученными обычным способом.

Analysis of Electrocardiograms by Means of an Electronic Computer

M. A. Kulikov and I. K. Sledzevskaya

Cybernetics group of the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev; Ukrainian N. D. Strajesko Research Institute for Clinical Medicine, Kiev

Summary

The results are presented of a research on the automatic analysis of Electrocardiograms by means of the «Kiev» electronic computer. As a result of an analysis of the section of the second classical lead, the parameters of the waves and intervals of the electrocardiogram and the characteristics of certain disturbances in rhythm are given.