

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ

*Навчальний посібник
для здобувачів вищої освіти
спеціальності «Фізична терапія, ерготерапія»*

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
Харківський національний медичний університет

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ

*Навчальний посібник
для здобувачів вищої освіти
спеціальності «Фізична терапія, ерготерапія»*

**Харків
ХНМУ
2024**

УДК 61:004 (075.8)
М42

*Затверджено Вченою радою ХНМУ.
Протокол № 9 від 28.08.2024.*

К о л е к т и в а в т о р і в

Висоцька О. В., Рисована Л. М., Радзішевська Є. Б.,
Гранкіна С. С., Шапкін А. С., Гордієнко Н. О., Солодовніков А. С.

Р е ц е н з е н т и

Малєєва О. В. – д-р тех. наук, проф. (НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»).

Сорокін О. В. – д-р фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.
(Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України).

М42 Комп'ютерна техніка та методи аналізу даних : навч. посіб. для здобувачів вищої освіти спеціальності «Фізична терапія, ерготерапія» / О. В. Висоцька, Л. М. Рисована, Є. Б. Радзішевська та ін. Харків : ХНМУ, 2024. 148 с.

Навчальний посібник розроблено на основі стандартної програми для здобувачів вищої освіти з освітнього компоненту «Комп'ютерна техніка та методи математичної статистики». Окрім питань, що передбачені програмою, у цій роботі також розглянуті питання кореляційної залежності між величинами та обробки біологічних сигналів.

У посібнику також додано розділи, які можуть бути вивчені здобувачами освіти самостійно, та невелику кількість тестових завдань для перевірки засвоєних знань.

УДК 61:004 (075.8)

© Харківський національний
медичний університет, 2024
© Висоцька О. В., Рисована Л. М.,
Радзішевська Є. Б., Гранкіна С. С.,
Шапкін А. С., Гордієнко Н. О.,
Солодовніков А. С., 2024

ПЕРЕДМОВА

Цифрова трансформація у сфері охорони здоров'я вимагає від усіх медичних працівників специфічних навичок, які раніше, за доби паперових технологій, не були необхідні. Це обумовлює потребу у включенні широкого спектра тем до навчальних програм для підготовки фахівців на всіх рівнях, що стосуються сучасної медичної комп'ютерної техніки та комп'ютерних технологій. Основними напрямками є питання впровадження і використання медичних інформаційних систем, що враховують тріаду «brainware – hardware – software». У навчальному посібнику розглянуті теми формалізації та алгоритмізації медичних завдань, аналізу біологічних сигналів та візуалізації зображень, медичних апаратно-програмних комплексів, основних видів програмного забезпечення та ін.

Однією з важливих складових підготовки медичного персоналу є вивчення основ доказової медицини як важливої засади для формування наукового підґрунтя майбутнього фахівця. Розуміння основних понять доказової медицини неможливе без володіння її математичними основами – теорією ймовірностей та математичною статистикою, які було включено до навчального посібника у спрощеному та адаптованому вигляді.

ТЕМА 1

ОСНОВИ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАТИКИ

Мета і завдання медичної інформатики

Протягом останнього десятиліття ХХ ст. інформаційні технології стали ключовим чинником, що впливає на розвиток суспільства. Ці технології у свою чергу впливають на державні структури, громадянське суспільство, економіку, соціальні сфери, науку, освіту, культуру та спосіб життя людей. Багато розвинених країн вже цілком розуміють можливості та переваги, які надає впровадження й поширення інформаційно-комунікаційних технологій. У медицині сучасний етап розвитку відзначається широким використанням новітніх технічних засобів і технологій у роботі служб охорони здоров'я, лікувально-профілактичних закладів, учбових та наукових установ.

Інтеграція сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій з мультимедійною інформацією допомогла реалізувати впровадження автоматизованих засобів обробки медичної інформації на всіх рівнях системи охорони здоров'я.

Медична інформатика, яка виникла як нова дисципліна, стала можливою завдяки прогресу в комп'ютерних та комунікаційних технологіях. Для успішного впровадження сучасних комп'ютерних систем та технологій у медицину необхідна якісна підготовка та перепідготовка медичних кадрів у галузі медичної інформатики.

Медична інформатика – це наукова дисципліна, яка вивчає процеси отримання, передачі, обробки, зберігання, поширення та представлення інформації в медицині та охороні здоров'я за допомогою інформаційних технологій. Основною метою медичної інформатики є оптимізація інформаційних процесів у медицині за допомогою комп'ютерних технологій для підвищення якості охорони здоров'я населення. Медична інформатика визнана як самостійна галузь науки з власним предметом, об'єктом вивчення та місцем серед інших медичних дисциплін.

Інформація як ключове поняття інформатики

Основні поняття інформатики

Поняття інформації відіграє важливу роль у сфері інформатики. У будь-якій діяльності людини відбувається процес збору та обробки інформації, що дозволяє приймати рішення та виконувати їх. З розвитком сучасних обчислювальних технологій інформація стала важливим ресурсом науково-технічного прогресу.

Інформація – це знання про щось, незалежно від форми її подання. На сьогоднішній день не існує єдиного визначення інформації як наукового терміну. Різні галузі знань описують це поняття за своїм специфічним набором характеристик.

Інформація може бути представлена в людській мові, текстах книг, журналів, газет, повідомленнях радіо та телебачення, показаннях приладів тощо. Людина сприймає інформацію через органи чуття, а зберігає та обробляє її за допомогою мозку та центральної нервової системи.

*Таким чином, поняття **інформації** можна розглядати як отриману в ході оброблення даних сукупність знань (нових, раніше не відомих відомостей).*

З поняттям інформації пов'язані такі поняття, як *сигнал, повідомлення і дані*.

Дані – це набір об'єктивних фактів про об'єкти, події, явища, процеси, що представлені у формалізованому вигляді й призначені для обробки їх технічними засобами. Дані можуть бути цифровими (факти, результати вимірювань), графічними, аудіо, відео і т. п. Вони можуть описуватися різними мовами (символьною, математичною, графічною і т. д.). Основними критеріями даних є своєчасність, відповідність і точність.

Дані перетворюються в інформацію наступними шляхами:

- контекстуалізація – визначення задач;
- категоризація – систематизація даних;
- підрахунок – математична обробка даних;
- корекція – виправлення помилок;
- стиснення даних.

Повідомлення – це впорядкована сукупність дискретних сигналів, що здатні переносити інформацію.

Сигнал – це матеріальний носій інформації (даних), який передається від джерела до споживача. Сигнал впливає на сенсорні системи, тому він несе інформацію, кодовану певним способом (алфавітом).

Будь-яке повідомлення складається з комбінації простих сигналів певної фізичної природи. Повний набір таких сигналів називають *алфавітом*, один сигнал – *літера алфавіту*. Для передачі

повідомлення його слід описати за допомогою якого-небудь алфавіту, інакше кажучи, закодувати. *Кодуванням* називається опис будь-якого повідомлення за допомогою певного алфавіту, тобто встановлення однозначної відповідності між параметрами, що характеризують сигнал, і інформацією. Переклад цього повідомлення на інший алфавіт називається *перекодуванням*, розшифровка повідомлення – *декодуванням*.

Для передачі повідомлень в господарському і науковому житті кодування робиться людиною. Проте природою створені природні способи кодування. Ці способи становлять величезний інтерес для науки, наприклад, вивчення способу кодування спадкової інформації про дорослий організм в зародковій клітині. Застосування кодування дозволяє використати невеликий алфавіт для передачі величезної інформації. Виявилось, що будь-яку інформацію можна закодувати за допомогою двох знаків (0; 1). Такий код називається *двійковим*.

Каналом зв'язку називається середовище, по якому передаються сигнали. Наприклад, при усній розмові сигналом є мова, а каналом зв'язку – повітря, при радіопередачі музики сигналом є звук, а каналом зв'язку – електромагнітне поле і повітря, в нервовій системі сигналом є нервові імпульси, а каналами – нервові волокна.

Фізичним носієм сигналу можуть бути всі види матерії, які при передачі одного сигналу можуть чергуватися. Наприклад, під час радіопередачі думка, що виражається словом, передана за рахунок біоелектричних імпульсів голосовим м'язам, викликаючи їх скорочення, створює звуковий образ, який в результаті коливання мембрани в мікрофоні перетворюється в електричний імпульс – сигнал, що передається на відстань.

Залежно від значення переданих сигналів їх ділять на інформаційні, що повідомляють будь-яку інформацію, і виконавчі, які містять будь-яку команду до дії. Розрізняють сигнали *дискретні* і *безперервні*.

Дискретний сигнал – це той сигнал, який в деякому інтервалі може приймати певне число значень. До таких сигналів відносяться показання цифрового годинника або приладів, тексти в книгах, азбука Морзе, передача цифр імпульсами струму. Перевагами систем, що працюють на дискретних сигналах, є висока перешкодозахищеність і можливість роботи каналів зв'язку без великих шумів, простота передачі команд управління каналами, можливість цифрової обробки сигналів, легкість кодування.

Сигнал вважається безперервним, якщо в заданих межах він може мати будь-яке значення. З математичної точки зору це означає, що безперервні сигнали можна представити у вигляді безперервної функції. Прикладами такого сигналу є одержуваний з мікрофона сигнал про тиск на його мембрану звукової хвилі і зміни температури, напруги, кров'яного тиску. На неперервний сигнал суттєвий вплив мають шуми.

Саме через це сигнали повинні задовольняти вимогам **ізоморфізму**. Під *ізоморфізмом* розуміють таку відповідність фізично різних явищ, при якому зберігається, не змінюється зміст переданого повідомлення.

Порушення ізоморфізму призводить до змінення інформації. Змінення сигналів, як внаслідок порушення ізоморфізму, так і в результаті зовнішніх перешкод називають *шумом*. Типова схема передачі інформації показана на *рис. 1.1*.

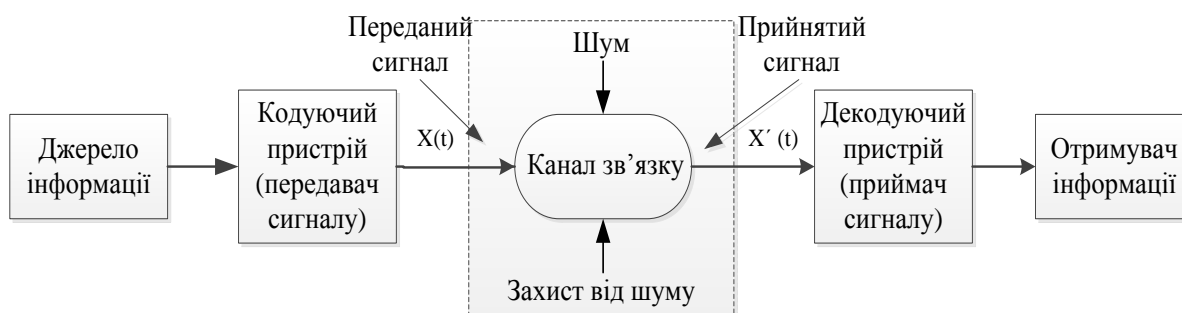


Рис. 1.1. Схема передачі інформації

Передача будь-якого сигналу пов'язана із затратою енергії, проте кількість переданої інформації і тим більше її сенс не залежать від енергії сигналу. Більш того, дуже часто сигнал малої енергії передає повідомлення, в результаті якого може бути викликаний процес, пов'язаний з величезною витратою енергії.

В інформатиці не важливо, яка енергія витрачена для передачі інформації, але суттєво важливо, яка кількість інформації буде передана або можна передати по тому або іншому каналу зв'язку.

Для кількісного підрахунку інформації слід відволіктися від сенсу повідомлення, аналогічно тому, як для вирішення арифметичного прикладу відволікаються від конкретних предметів. Складаючи, наприклад, 2 і 3, отримуємо 5, при цьому несуттєво, які саме предмети складаємо.

Як же обчислюється кількість інформації?

Для оцінки кількості інформації використовують імовірнісні методи, які беруть до уваги тільки імовірнісні властивості інформації і не враховують інші (смісловий зміст, корисність, актуальність тощо). Розроблені в середині ХХ ст. математичні та, зокрема, ймовірнісні методи дозволили сформулювати підхід до оцінки кількості інформації як до міри зменшення невизначеності знань. Такий підхід, званий *ймовірнісним*, постулює принцип: якщо деяке повідомлення призводить до зменшення невизначеності наших знань, то можна стверджувати, що таке повідомлення містить інформацію. При цьому повідомлення містять інформацію про будь-які події, які можуть реалізуватися з різними можливостями.

З визначення інформації випливає, що вона (інформація) має сенс тільки тоді, коли зменшує міру незнання, тобто процес добування інформації пов'язаний зі збільшенням визначеності наших відомостей про об'єкт. Повідомлення несе інформацію, якщо зі сукупності реально можливих подій вказується деяке визначене. *Повідомлення про вже відоме не несе інформації. Чим більше різних можливостей має подія, тим більшу інформацію про нього несе повідомлення.* Говорять, що кількість інформації змінюється у відношенні, зворотному імовірності. Якщо імовірність події дорівнює одиниці, то така подія не могла не статися, і повідомлення про цю подію не несе інформації (інформація дорівнює нулю): $I(P(A) = 1) = 0$. Якщо імовірність події прагне до нуля, то кількість інформації прагне до нескінченності: $I(P(A) \rightarrow 0) \rightarrow \infty$.

Якщо врахувати, що інформація має бути адитивною величиною (інформація, що міститься в повідомленні про те, що сталися дві події, повинна дорівнювати сумі інформацій, що містяться в повідомленнях про кожну з цих подій), то стає зрозумілою причина вибору логарифмічної функції для опису залежності між кількістю інформації і ймовірністю. Ця залежність визначається *формулою Хартлі*:

$$I(A) = -\log_2 P(A),$$

де $I(A)$ – інформація про те, що сталася подія A ; $P(A)$ – імовірність цієї події.

Знак мінус у формулі стоїть для того, щоб зробити цей вираз позитивним, оскільки логарифм позитивного числа менше одиниці є негативним, а $0 \leq P(A) \leq 1$.

Формулу для визначення кількості інформації для подій з різними можливостями і одержуваних від дискретного джерела інформації запропонував американський вчений К. Шеннон в 1948 р. Відповідно до цієї формули кількість інформації може бути визначено за *формулою Шеннона*:

$$\bar{I} = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i,$$

де n – число усіх можливих подій, про які приходять повідомлення; p_i – імовірність i -тої події ($i = 1; 2; \dots; n$).

Також цю величину часто позначають буквою ***H*** і називають *інформаційною ентропією*. На користь такої назви можна привести такі аргументи:

- як інформаційна, так і термодинамічна ентропія логарифмічно залежать від імовірності;
- інформаційна ентропія досягає максимуму, якщо усі p_i рівні між собою, тобто, якщо ситуація найбільш невизначена (непередбачувана); термодинамічна ентропія є мірою неупорядкованості системи, а *інформаційна – мірою невизначеності ситуації*.

Одиниця виміру кількості інформації – біт.

З формули Хартлі випливає, що, якщо $P(A) = 0,5$, то $I(A) = 1$. Тому можна сказати, що:

1 біт – це інформація, яка міститься в повідомленні про те, що сталося одне з двох рівноімовірних подій, тобто імовірність таких подій дорівнює 0,5.

Також для виміру інформації використовують одиницю вимірювання ***байт***.

Кратні байту одиниці вимірювання кількості інформації вводяться наступним чином:

1 Кілобайт (Кбайт)	= 2^{10} байт	= 1024 байт;
1 Мегабайт (Мбайт)	= 2^{10} Кбайт	= 1024 Кбайт;
1 Гігабайт (Гбайт)	= 2^{10} Мбайт	= 1024 Мбайт;
1 Терабайт (Тбайт)	= 2^{10} Гбайт	= 1024 Гбайт;
1 Петабайт (Пбайт)	= 2^{10} Тбайт	= 1024 Тбайт;
1 Екзабайт (Ебайт)	= 2^{10} Пбайт	= 1024 Пбайт.

Зміст інформатики та її головна функція

Термін «інформатика» виник в 60-х рр. у Франції для назви галузі, що займається автоматизованою обробкою інформації за допомогою електронних обчислювальних машин. Французький термін *informatique* (інформатика) утворений шляхом злиття слів *information* (інформація) і *automatique* (автоматика) і означає «інформаційна автоматика або автоматизована переробка інформації». У англійських країнах цьому терміну відповідає синонім *computer science* (наука про комп'ютерну техніку).

Виділення інформатики як самостійної галузі людської діяльності в першу чергу пов'язано з розвитком комп'ютерної техніки. Причому основна заслуга в цьому належить мікропроцесорній техніці, поява якої в середині 70-х рр. послужила початком другої електронної революції. Від того часу елементною базою обчислювальної машини стають інтегральні схеми і мікропроцесори, а галузь, пов'язана зі створенням і використанням комп'ютерів, отримала потужний імпульс у своєму розвитку. Термін «інформатика» отримує нове дихання і використовується не лише для відображення досягнень комп'ютерної техніки, але і зв'язується з процесами передачі і обробки інформації і трактується як «комплексна наукова та інженерна дисципліна, що вивчає усі аспекти розробки, проектування, створення, оцінки і функціонування ґрунтованих на електронних обчислювальних машинах (ЕОМ) систем переробки інформації, їх застосування і дії на різні галузі соціальної практики».

Інформатика в такому розумінні націлена на розробку загальних методологічних принципів побудови інформаційних моделей. Тому методи інформатики застосовані усюди, де існує можливість опису об'єкта, явища, процесу і тому подібне за допомогою інформаційних моделей. Існує безліч визначень інформатики, що пов'язано з багатогранністю її функцій, можливостей, засобів і методів. Узагальнюючи опубліковані в літературі з інформатики визначення цього терміну, можна запропонувати таке сучасне його трактування: *інформатика – це галузь людської діяльності, яка пов'язана з процесами перетворення інформації за допомогою комп'ютерів і їх взаємодією із середовищем застосування.*

Часто виникає плутанина в поняттях «інформатика» і «кібернетика». Спробуємо роз'яснити їх схожість і відмінність.

Основна концепція, закладена Н. Вінером в кібернетику, пов'язана із розробкою теорії управління складними динамічними системами в різних галузях людської діяльності. Кібернетика існує незалежно від наявності або відсутності комп'ютерів і є наукою про загальні принципи управління в різних системах: технічних, біологічних, соціальних та ін.

Інформатика займається вивченням процесів перетворення і створення нової інформації більш широко, практично не вирішуючи задачі управління різними об'єктами, як кібернетика. Тому може скластися враження про інформатику як про більш містку дисципліну, ніж кібернетика. Однак, з іншого боку, інформатика не займається вирішенням проблем, не пов'язаних з використанням комп'ютерної техніки, що, поза сумнівом, звужує її, здавалося б, узагальнювальний характер. Між цими двома дисциплінами провести чітку межу не є можливим у зв'язку з її розмитістю і невизначеністю, хоча існує досить поширена думка, що інформатика є одним з напрямів кібернетики.

Інформатика з'явилася завдяки розвитку комп'ютерної техніки, базується на ній і абсолютно немислима без неї. Кібернетика ж розвивається сама по собі, будуючи різні моделі управління об'єктами, хоча і дуже активно використовує усі досягнення комп'ютерної техніки. Кібернетика і інформатика, зовні дуже схожі дисципліни, розрізняються, швидше за все, в розставленні акцентів: в інформатиці – на властивостях інформації і апаратно-програмних засобах її обробки, у кібернетиці – на розробці концепцій і побудові моделей об'єктів з використанням, зокрема, інформаційного підходу.

Інформатика в широкому сенсі є єдністю різноманітних галузей науки, техніки і виробництва, пов'язаних з переробкою інформації головним чином за допомогою комп'ютерів і телекомунікаційних засобів зв'язку в усіх сферах людської діяльності.

Інформатику у вузькому сенсі можна представити як складову з трьох взаємозв'язаних частин – технічних засобів (*hardware*), програмних засобів (*software*), алгоритмічних засобів (*brainware*). У свою чергу, інформатику як в цілому, так і кожен її частину зазвичай розглядають з різних позицій: як галузь народного господарства, як фундаментальну науку, як прикладну дисципліну.

Інформатика як *галузь народного господарства* складається з однорідної сукупності підприємств різних форм господарювання, де займаються виробництвом комп'ютерної техніки, програмних продуктів і розробкою сучасної технології переробки інформації. Специфіка і значення інформатики як галузі виробництва полягають у тому, що від неї багато в чому залежить зростання продуктивності праці в інших галузях народного господарства. Більше того, для нормального розвитку цих галузей продуктивність праці в самій інформатиці повинна зростати більш високими темпами, оскільки в сучасному суспільстві інформація все частіше виступає як предмет кінцевого споживання: людям потрібна інформація про події, що відбуваються у світі, про предмети і явища, що відносяться до їх

професійної діяльності, про розвиток науки і самого суспільства. Подальше зростання продуктивності праці і рівня добробуту можливе лише на основі використання нових інтелектуальних засобів і людино-машинних інтерфейсів, орієнтованих на прийом і обробку великих об'ємів мультимедійної інформації (текст, графіка, відеозображення, звук, анімація). За відсутності достатніх темпів збільшення продуктивності праці в інформатиці може статися істотне уповільнення зростання продуктивності праці в усьому народному господарстві.

Інформатика як *фундаментальна наука* займається розробкою методології створення інформаційного забезпечення процесів управління будь-якими об'єктами на базі комп'ютерних інформаційних систем. Існує думка, що одне з головних завдань цієї науки – з'ясування, що таке інформаційні системи, яке місце вони займають, яку повинні мати структуру, як функціонують, які загальні закономірності їм властиві. У Європі можна виділити наступні основні наукові напрямки в галузі інформатики:

- розробка мережевої структури;
- комп'ютерно-інтегровані виробництва;
- економічна і медична інформатика;
- інформатика соціального страхування і довкілля;
- професійні інформаційні системи.

Мета фундаментальних досліджень в інформатиці – отримання узагальнених знань про будь-які інформаційні системи, виявлення загальних закономірностей їх побудови і функціонування.

Інформатика як *прикладна дисципліна* займається:

- вивченням закономірностей в інформаційних процесах (накопичення, переробка, поширення);
- створенням інформаційних моделей комунікацій в різних галузях людської діяльності;
- розробкою інформаційних систем і технологій в конкретних галузях і складанням рекомендацій відносно їх життєвого циклу (етапи проєктування і розробки систем, їх виробництва, функціонування тощо).

Головна функція інформатики полягає в розробці методів і засобів перетворення інформації і їх використанні в організації технологічного процесу переробки інформації.

Завдання інформатики полягають в наступному:

- дослідження інформаційних процесів будь-якої природи;
- розробка інформаційної техніки і створення новітньої технології переробки інформації на базі отриманих результатів дослідження інформаційних процесів;
- рішення наукових й інженерних проблем створення, впровадження та забезпечення ефективного використання комп'ютерної техніки і технології в усіх сферах громадського життя.

Інформатика існує не сама по собі, а є комплексною науково-технічною дисципліною, покликаною створювати нову інформаційну техніку і технології для вирішення проблем в інших галузях. Вона надає методи і засоби дослідження іншим галузям, навіть таким, де вважається неможливим застосування кількісних методів із-за неформалізованості процесів і явищ. Особливо слід виділити в інформатиці методи математичного моделювання і методи розпізнавання образів, практична реалізація яких стала можливою завдяки досягненням комп'ютерної техніки.

Комплексу індустрії інформатики стане провідним в інформаційному суспільстві. Тенденція до все більшої інформованості в суспільстві в істотному ступені залежить від прогресу інформатики як єдності науки, техніки і виробництва.

Структурна схема ЕОМ

Принципи функціонування персональних комп'ютерів (ПК)

Як вже згадувалося раніше, інформаційні технології – це переважно комп'ютеризовані способи обробки, зберігання, передачі і використання інформації. Хоча, строго кажучи, поняття «інформаційні технології» ширше, ніж «комп'ютерні технології», стосовно сучасної інформатики вони практично співпадають.

Сукупність пристроїв, призначених для автоматичної або автоматизованої обробки даних, називається *обчислювальною технікою*.

Сукупність технічних і програмних засобів, що забезпечує виконання обчислювальних робіт, називається *обчислювальною системою*, в центрі якої може бути людина, машина (комп'ютер) або людина-машина.

Слово «комп'ютер» означає «обчислювач». У своєму розвитку обчислювальна техніка пройшла різні етапи:

- 1) палички для обчислень, рахівниці;
- 2) 1642 р. – Блез Паскаль винайшов механічний пристрій для складання чисел;
- 3) 1673 р. – Готфрід Вільгельм Лейбніц створив арифмометр, що дозволяє виконувати усі чотири арифметичні дії;

4) друга половина XIX ст. – Чарльз Беббидж розробив основні ідеї універсального обчислювального пристрою – аналітичної програмованої машини;

5) 1943 р. – американець Говард Ейкен на основі ідей Ч. Беббиджа створив на базі електро-механічних реле обчислювальну машину «Марк-1».

До цього часу потреба в автоматизації обчислень стала настільки великою, що над створенням подібних машин одночасно працювало декілька груп фахівців. Створені ними *ЕОМ* вже на основі електронних ламп працювали в тисячу разів швидше, ніж «Марк-1». У 1945 р. до цієї роботи був залучений відомий математик Джон фон Нейман. Підсумком його роботи стала доповідь, яка здобула широку популярність, оскільки в ній Джон фон Нейман ясно і просто сформулював загальні принципи функціонування універсальних обчислювальних пристроїв, тобто комп'ютерів.

З цієї доповіді виходило, що для ефективної роботи комп'ютера він повинен містити наступні пристрої:

- арифметично-логічний пристрій, що виконує арифметичні і логічні операції;
- пристрій управління, який організовує процес виконання програм;
- пристрій, що запам'ятовує, або пам'ять для зберігання програм і даних;
- зовнішні пристрої для введення-виведення інформації.

У загальних рисах роботу комп'ютера можна описати так. Спочатку за допомогою будь-якого зовнішнього пристрою в пам'ять комп'ютера встановлюється програма. Пристрій управління зчитує вміст комірки пам'яті, де знаходиться перша команда програми, і організовує її виконання. Після виконання першої команди пристрій управління починає виконувати команду, розташовану в наступній комірці пам'яті, і т. д. Цей порядок може бути порушений за допомогою команд передачі управління (переходу), які вказують пристрою управління, що йому слід виконувати команди з інших комірок пам'яті.

Таким чином, управляючий пристрій виконує інструкції програми автоматично, тобто без втручання людини. При цьому управляючий пристрій може обмінюватися інформацією з оперативною пам'яттю і зовнішніми пристроями.

Слід зазначити, що схема облаштування сучасного комп'ютера дещо відрізняється від наведеної вище. Зокрема, арифметично-логічний пристрій і пристрій управління об'єднані в єдиний пристрій – центральний процесор. Крім того, процес виконання програм може перериватися для виконання невідкладних дій, пов'язаних із сигналами, що поступили, від зовнішніх пристроїв комп'ютера – перериваннями. Проте більшість сучасних комп'ютерів в основних рисах відповідають принципам, викладеним Джоном фон Нейманом.

Розвиток електроніки в другій половині XX ст. (транзистори – 1948 р., інтегральні мікросхеми – 1958 р., мікропроцесор – 1969 р.) привів до значного зменшення габаритів і вартості *ЕОМ*, що і зумовило появу персональних *ЕОМ*, інакше – персональних комп'ютерів (*ПК*).

Після цього було створено велику кількість *ПК* до того моменту, коли фірмою *IBM* в 1981 р. не був розроблений комп'ютер *IBM PC*, який став стандартом персонального комп'ютера. Зараз такі комп'ютери («сумісні з *IBM PC*») складають більше 90 % усіх вироблених у світі *ПК*.

Такий значний успіх був досягнутий завдяки використанню принципу відкритої архітектури. Тобто комп'ютер був зроблений не єдиним нероз'ємним пристроєм, а давав можливість його складання з незалежно виготовлених частин аналогічно дитячому конструктору. При цьому методи сполучення пристроїв з комп'ютером *IBM PC* не лише не трималися в секреті, але і були доступні усім бажаючим.

Портативні (ноутбуки, нетбуки, планшетний комп'ютер) і кишенькові (палмтопи) моделі отримали відносно широке розповсюдження як комп'ютери, що носяться, оскільки вони мають розміри звичайної книги або, відповідно, записника. Проте вони містять все, що має настільний комп'ютер, за винятком екрану, який виконується на рідкокристалічних індикаторах (чорно-білий або кольоровий). Такі комп'ютери можуть працювати 3–6 год від вбудованого блоку акумуляторів.

Наразі в пошуках реальної альтернативи напівпровідникових технологій створення нових обчислювальних систем вчені звертають дедалі більшу увагу на біотехнології, або біокомп'ютинг, який являє собою гібрид інформаційних, молекулярних технологій, а також біохімії. Центральне місце в цьому підході займає так званий *ДНК*-процесор. Принцип пристрою комп'ютерної *ДНК*-пам'яті заснований на послідовному з'єднанні чотирьох нуклеотидів (основних цеглинок *ДНК*-ланцюга). Перший комп'ютер на базі *ДНК* був створений ще в 1994 р. американським ученим Леонардом Адлеманом.

Комп'ютери можуть бути класифіковані за сумісністю. Нині існує велика кількість різних типів *ПК*, що відрізняються мірою сумісності. Розрізняють апаратну сумісність, сумісність на рівні операційної системи, програмну сумісність, сумісність на рівні даних. Найбільш важливою є апаратна сумісність. Зараз найбільш поширені дві лінії (платформи) персональних комп'ютерів, не сумісних один з одним за устаткуванням. Це *ПК* фірм *IBM* та *Apple*.

Зазвичай сучасні персональні комп'ютери *IBM PC* складаються з таких основних блоків: системний блок; клавіатура для введення символів і монітор (дисплей). Структурна схема ПК показана на рис. 1.2.

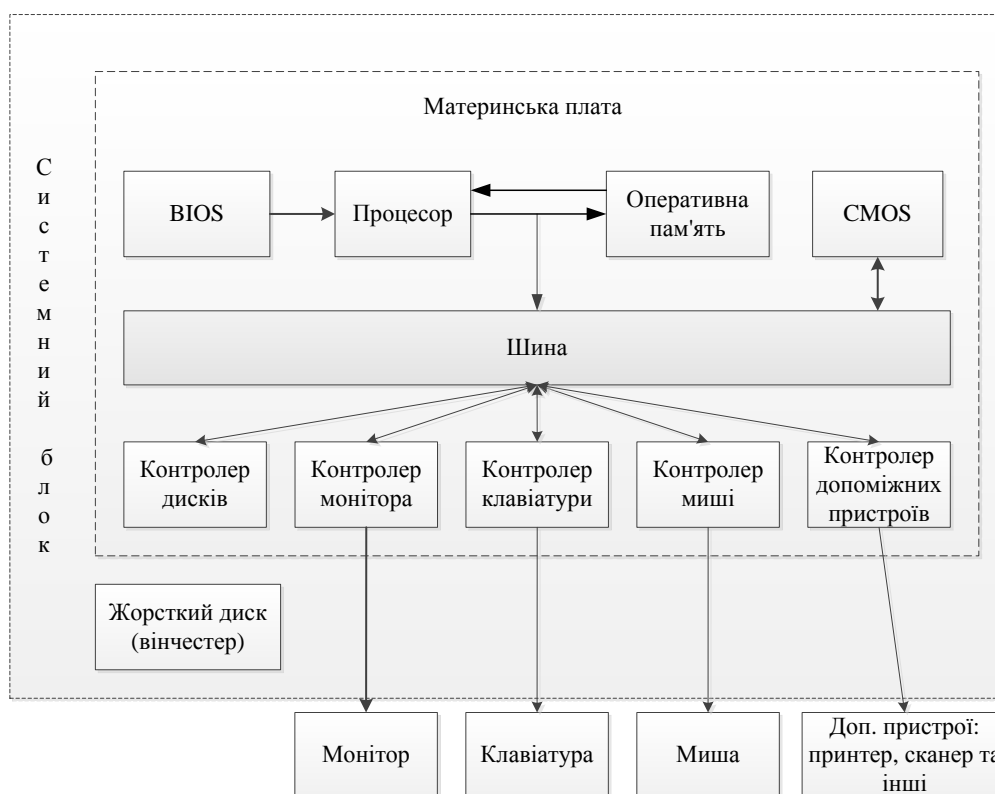


Рис. 1.2. Структурна схема ПК

Системний блок має модульну структуру. Головний елемент – *процесор*, що виконує усі основні арифметичні і логічні операції і керує синхронною роботою усіх інших блоків ПК. У комп'ютерах типу *IBM PC* використовуються процесори фірми *Intel*, а також сумісні з ними процесори інших фірм (*AMD, IBM* та ін.).

Процесор (оброблювач) (*CPU – Central Processing Unit*) – основна мікросхема, в якій відбуваються усі обчислення, виконуються більшість математичних і логічних операцій. Це «мозок» комп'ютера, саме він здійснює обробку даних, що знаходяться в пам'яті комп'ютера. Він вибирає з пам'яті команди і виконує їх. Звичайний цикл роботи центрального процесора виглядає так: він читає першу команду з пам'яті, декодує її для визначення її типу і операндів, виконує подальші команди. Таким чином здійснюється виконання програм. Для кожного центрального процесора існує набір команд, який він в змозі виконати.

Основними параметрами процесора є: розрядність, кількість ядер, робоча тактова частота, розмір кеш-пам'яті.

Розрядність процесора показує, скільки біт даних він може прийняти і обробити у своїх регістрах за один раз (за один такт). Робоча тактова частота визначає швидкість, з якою здійснюються операції в процесорі. Кеш-пам'ять (надшвидкодійна пам'ять, розташована усередині процесора) дозволяє знизити кількість звернень процесора до значно повільнішої оперативної пам'яті. Сучасні процесори сімейства *Intel* і *AMD* є 64-розрядними.

Робоча тактова частота визначає швидкість, з якою здійснюються операції в процесорі. Тактова частота сучасних процесорів вимірюється у МГц (1 Гц відповідає виконанню однієї операції за 1 с).

Дуже важливим елементом комп'ютера є його *пам'ять*. Вона забезпечується різними елементами.

Оперативна пам'ять (ОП) призначена для тимчасового зберігання даних, коли комп'ютер включений. Це та пам'ять, яка безпосередньо працює з процесором, передаючи в нього дані і отримуючи результати обробки. У ній зберігаються дані і програми, з якими працює ПК в теперішній момент часу. Зазвичай ОП виконується з інтегральних мікросхем пам'яті *SDRAM* (синхронне динамічне ОП). Кожен інформаційний біт в *SDRAM* запам'ятовується у вигляді електричного заряду крихітного конденсатора, утвореного в структурі напівпровідникового кристала. Із-за струмів витоку такі конденсатори швидко розряджаються, і їх періодично (приблизно кожних 2 мілісекунди) заряджають спеціальні пристрої. Цей процес називається регенерацією пам'яті (*Refresh Memory*). Мікросхеми *SDRAM* мають ємність 16–256 Мбіт і більше. Вони встановлюються в корпуси і збираються в модулі пам'яті.

Більшість сучасних комп'ютерів комплектуються модулями типу *DDR* (модуль пам'яті з дворядним розташуванням мікросхем). У комп'ютерних системах на найсучасніших процесорах використовуються високошвидкісні модулі *Rambus DRAM (RIMM)* і *DDR4 SDRAM*.

Модулі пам'яті характеризуються такими параметрами, як об'єм, число мікросхем, паспортна частота, час доступу до даних і число контактів.

Оперативна пам'ять практично усіх комп'ютерів має характерну властивість: при виключенні живлення пам'ять втрачає усю інформацію. Тому створення енергонезалежної оперативної пам'яті є важливим напрямом досліджень. Однією з таких розробок є пам'ять типу *flash* (блискавка).

Жорсткий диск – основний пристрій довготривалої пам'яті, призначений для зберігання постійно використовуваних в роботі програм і даних. Запис і зчитування інформації здійснюється магнітною голівкою. До основних параметрів жорстких дисків відносяться місткість і продуктивність (середній час доступу). Нині місткість таких дисководів досягає 4 терабайт.

Довготривала (зовнішня) пам'ять відноситься до пристроїв, призначених для довготривалого зберігання великих об'ємів даних і програм. Вона має невисоку швидкодію, але дуже велику місткість (від сотень до тисяч гігабайт), і інформація, що зберігається в ній, не стирається при виключенні комп'ютера. Довготривала пам'ять найчастіше реалізується на електромеханічних пристроях з магнітним або оптичним записом на дисках. Існують дисководи і відповідно носії інформації на змінних, жорсткі магнітні диски (вінчестери), дисководи для компакт-дисків (*CD-ROM, DVD-ROM, BR*) і *USB* флеш-пам'ять.

Кеш-пам'ять (англ. *cache*) або надоперативна пам'ять – дуже швидкий запам'ятовуючий пристрій, який використовується при обміні даними між мікропроцесором і оперативною пам'яттю для компенсації різниці в швидкості обробки інформації процесором і трохи менше швидкодіючою оперативною пам'яттю. Кеш-пам'ять сучасних процесорів має об'єм в декілька Мбайт.

Кеш-пам'яттю управляє спеціальний пристрій – контролер, який, аналізуючи виконувану програму, намагається передбачити, які дані і команди найімовірніше знадобляться найближчим часом процесору, і підкачує їх в кеш-пам'ять. При цьому можливі як «попадання», так і «промахи». У разі попадання, тобто, якщо в кеш підкачані потрібні дані, витягання їх з пам'яті відбувається без затримки. Якщо ж необхідна інформація в кеші відсутня, то процесор прочитує її безпосередньо з оперативної пам'яті. Співвідношення кількості попадань і промахів визначає ефективність кешування.

Постійна пам'ять (ПЗП), в яку внесені дані при виготовленні *ПК*. Ці дані не можуть бути змінені, виконувані на комп'ютері програми можуть тільки їх зчитувати. Тому часто такий вид пам'яті ще називають *ROM (read only memory)*. У постійну пам'ять записують програму управління роботою самого процесора. У *ПЗП* знаходяться програми управління дисплеєм, клавіатурою, принтером, зовнішньою пам'яттю, програми запуску і зупинки комп'ютера, тестування пристроїв.

Різновидом постійного *ЗП* є *CMOS RAM*. Це пам'ять з невисокою швидкодією і мінімальним енергоспоживанням. Використовується для зберігання інформації про конфігурацію і склад устаткування комп'ютера, а також про режими його роботи. Вміст *CMOS*-пам'яті не змінюється при виключенні комп'ютера, оскільки для її електроживлення використовується спеціальний акумулятор.

У *CMOS*-пам'яті зберігається інформація про поточні часові параметри (дата і час), про значення часу для будильника, про конфігурацію комп'ютера: пріоритети завантаження з різних накопичувачів, кількість пам'яті, типи накопичувачів, режими енергоспоживання, про тип дисплея, про установку клавіатури і т. д. *CMOS RAM* відрізняється від інших видів постійної пам'яті тим, що записана в неї інформація легко змінюється програмним шляхом.

Вміст *CMOS* змінюється спеціальною програмою *Setup*, що знаходиться в *BIOS* (англ. *Set-up* – встановлювати). У програмі *Setup* завжди передбачена можливість установки параметрів комп'ютера за умовчанням (*Default Setting*). Це особливо зручно у випадку розрядження або пошкодження батареї чи акумулятора.

У нових комп'ютерах, що підтримують режим економії споживаної електроенергії, можна також задавати перехід комп'ютера в режими *Doze* (сплячий), *Standby* (очікування або резервний) і *Suspend* (призупинення роботи) за відсутності звернень до вузлів комп'ютера протягом заданого часу. Режими перераховані в порядку зниження споживання електроенергії. Комп'ютери (а також їхні системні плати), де застосовуються такі режими, називаються іноді «зеленими».

Велика частина програм, розміщених у *ПЗП*, пов'язана з обслуговуванням операцій введення-виведення, відповідно вміст *ПЗП* часто називають *BIOS (Basic Input-Output System* – базова система введення-виведення). Роль *BIOS* двояка: з одного боку, це невід'ємний елемент апаратури, а з іншого – важливий модуль будь-якої операційної системи. Така пам'ять енергонезалежна. При виключенні живлення комп'ютера вміст *ROM-BIOS* не стирається і може зберігатися багато років. Інструкція роботи з *BIOS* будь-якого комп'ютера обов'язково є в комплектації. Іноді за допомогою цієї програми

вдається значно підвищити швидкодію комп'ютера завдяки вибору оптимальних (або навіть граничних) для даної конфігурації параметрів: частоти системної шини, кількості тактів затримки при обміні з системною пам'яттю і кеш-пам'яттю.

Відеопам'ять (VRAM) – різновид оперативного ЗП, в якому зберігаються закодовані зображення. Цей ЗП організовано так, що його вміст доступно відразу двом пристроям – процесору і дисплею. Тому зображення на екрані змінюється одночасно з оновленням відеоданих в пам'яті. Відеопам'ять являє собою *оперативну пам'ять*, яка, хоч і не є, по суті, системною пам'яттю, розглядається процесором як частина системної пам'яті. Швидкість обміну з відеопам'яттю – досить важливий параметр, він впливає на зручність роботи з комп'ютером і часто визначає коло завдань, яке може їм виконуватися. Отже для відеопам'яті використовують самі швидкодіючі мікросхеми.

Обмін інформацією між оперативною пам'яттю і різними пристроями здійснюється за допомогою контролерів і магістралей обміну даних. *Контролер* – це мікросхема (набір мікросхем) на платі, яка приймає команди операційної системи і виконує їх.

У багатьох випадках фактичне управління пристроєм дуже складне і вимагає високого рівня деталізації, тому в роботу контролера входить представлення простого інтерфейсу для операційної системи. Оскільки всі типи контролерів відрізняються один від одного, для управління ними потрібно різне програмне забезпечення. Програма, яка спілкується з контролером, віддає йому команди і отримує відповіді, називається *драйвером пристрою*. Кожен виробник контролерів має постачати драйвери для підтримуваних ним операційних систем.

Важливою характеристикою, що визначає реальну продуктивність процесора, є швидкість системної шини – основного конвеєра, який процесор використовує для зв'язку з іншими компонентами системи.

Шини – це з'єднання маршрутів даних, що зв'язують центральний процесор комп'ютера з модулями оперативної пам'яті та іншими пристроями, з якими він взаємодіє. Системна (*front-side*) шина зв'язує центральний процесор з основною пам'яттю комп'ютера і шинами периферійних пристроїв. Шина кеш-пам'яті (*backside*) – досить швидке з'єднання, яке центральний процесор використовує для обміну інформацією із зовнішньою кеш-пам'яттю, у тому числі і з *КЕШУ* другого рівня. Спрощено шину можна уявити собі як набір паралельних проводів, кожен з яких передає один біт інформації: 1 або 0. Кількість проводів в шині – це ширина шини. Саме ширина шини і є та кількість бітів (розрядів), яка визначає кількість одночасно переданої інформації. Чим ширше шина (більше її розрядність), тим більше даних можна передати одночасно, тим швидше працює комп'ютер.

Монітор – пристрій візуального представлення даних. Найпоширенішими сьогодні є рідкокристалічні дисплеї (*LCD*). Вони мають низьке енергоспоживання, тому знайшли широке застосування як в кишенькових пристроях (годинниках, мобільних телефонах, кишенькових комп'ютерах), так і в комп'ютерних моніторах, телевизорах тощо. Основними споживчими параметрами моніторів є розмір екрану, роздільна здатність (кількість пікселів у кожному з вимірів, що може бути відображена), максимальна частота регенерації зображення і клас захисту.

Роздільну здатність екрану визначає чіткість зображення. *Частота регенерації* зображення також визначає чіткість і стійкість зображення і має бути не нижче 60 Гц. *Клас захисту* визначає відповідність монітора вимогам техніки безпеки.

Властивості зображення залежать не лише від монітора, але і від властивостей і налаштувань плати, розміщеної в системному блоці (відеоадаптера). Монітор і відеоадаптер повинні відповідати один одному.

Пристрої введення відносяться до периферійних і призначені для введення інформації в ПК. Основними пристроями введення даних в комп'ютер є клавіатура, миша і сканер.

Клавіатура служить для введення алфавітно-цифрових даних, а також команд управління комп'ютера. Стандартна клавіатура настільних машин має 101 і більше клавіш, які функціонально розподілені за кількома групами.

Ще одним з пристроїв, які найчастіше присутні в основному складі ПК, але не є його основним елементом, є миша. *Миша* – облаштування управління комп'ютером маніпуляторного типу.

Сканери призначені для введення графічної і текстової інформації, що нанесена на паперовий носій. Крім того, комп'ютер може сприймати інформацію і з датчиків – у вигляді електричних сигналів через спеціальний пристрій, що називається аналого-цифровим перетворювачем (*АЦП*).

Пристрої виведення також відносяться до периферійних і призначені для надання користувачам результатів обробки даних. Найпоширеніші пристрої виведення – монітор і друкуючий пристрій, або принтер. Існують пристрої для отримання графіків і креслень – графічні пристрої, або плотери. Комп'ютер також здатний виводити інформацію у вигляді електричних сигналів на будь-які виконавчі пристрої через цифрово-аналогові перетворювачі (*ЦАП*).

Принтери призначені для отримання копії документів на папері. Вони можуть бути струминними, що малюють за допомогою дуже маленьких чорнильних крапель; лазерними, в яких фарбувальний барабан опромінюється світловими імпульсами, електризується, покривається фарбувальним складом і переносить його на папір. Основними параметрами принтерів є продуктивність (кількість сторінок за хвилину) і роздільна здатність (720–2880 dpi).

Ще одним важливим облаштуванням введення-виведення інформації є *модем*. Він призначений для обміну інформацією між віддаленими комп'ютерами по каналах зв'язку (наприклад, телефонним лініям). Найбільш важливим параметром модему є швидкість передачі даних. У сучасних масових модемів вона дорівнює 1000 Мбіт/с, у безпроводних *Wi-Fi* – до 500 Мбіт/с.

Для підключення до комп'ютера різних пристроїв служать роз'єми розширення або слоти (розташовані усередині системного блоку) і спеціальні гнізда, що називаються портами (розташовані на задній стінці системного блоку). Саме до останніх підключаються миша, принтер, а також модем та інші зовнішні пристрої. Порти розділяються на послідовні і паралельні.

Роз'єми (гнізда) розширення використовуються для безпосереднього підключення зовнішніх пристроїв до шини комп'ютера.

Призначення і функції операційних систем

Операційна система (*ОС*) являє собою комплекс системних керуючих і оброблювальних програм, які, з одного боку, виступають як інтерфейс між апаратурою комп'ютера і користувачем з його задачами, а з іншого боку, призначені для найбільш ефективного витрачання ресурсів обчислювальної системи і організації надійних обчислень.

Завдання можуть передаватися у вигляді текстових директив (команд) оператора або у формі вказівок, що виконуються за допомогою маніпулятора (наприклад, за допомогою миші).

Після отримання завдання *ОС* завантажує і запускає програми що підлягають виконанню, розподіляє пам'ять, а в більшості сучасних систем і організовує віртуальну пам'ять, а також обслуговує всі операції введення-виведення.

Крім того, *ОС* забезпечує:

- роботу систем управління файлами (*СУФ*) і/або систем управління базами даних (*СУБД*), що дозволяє різко збільшити ефективність всього програмного забезпечення;
- режим мультипрограмування, тобто організацію паралельного виконання двох або більше програм на одному процесорі, що створює видимість їх одночасного виконання;
- планування і диспетчеризацію завдань відповідно до заданої стратегії та дисциплінами обслуговування;
- організацію механізмів обміну повідомленнями і даними між виконуваними програмами;
- для мережних операційних систем характерною є функція забезпечення взаємодії пов'язаних між собою комп'ютерів;
- захист однієї програми від впливу іншої, забезпечення збереження даних, захист самої операційної системи від програм, які виконуються на комп'ютері;
- аутентифікацію і авторизацію користувачів (для більшості діалогових операційних систем); під аутентифікацією розуміється процедура перевірки імені користувача і його пароля на відповідність тим значенням, які зберігаються в його обліковому записі; термін авторизація означає, відповідно до облікового запису користувача, який пройшов аутентифікацію, йому (і всім запитам, які надходять в операційну систему від його імені) призначаються певні права (привілеї), які визначають, що він може, а що не може робити на комп'ютері;
- задоволення жорстких обмежень часу відповіді в режимі реального часу (характерно для операційних систем реального часу);
- забезпечення роботи систем програмування, за допомогою яких користувачі створюють свої програми;
- надання послуг на випадок часткового збою системи; операційна система ізолює апаратне забезпечення комп'ютера від прикладних програм користувачів; і користувач, і його програми взаємодіють з комп'ютером через інтерфейси *ОС*.

Операційна система виконує функції управлінням обчисленнями в комп'ютері, розподіляє ресурси обчислювальної системи між різними обчислювальними процесами і утворює те програмне середовище, в якому виконуються прикладні програми користувачів. Таке середовище називається *операційним*.

Класифікація операційних систем

Розрізняють ОС загального та спеціального призначення.

ОС спеціального призначення, у свою чергу, підрозділяються на ОС для переносних мікрокомп'ютерів і різних вбудованих систем, організації та ведення баз даних, розв'язування задач реального часу та ін. Ще не так давно операційні системи для персональних комп'ютерів відносили до ОС спеціального призначення. Сучасні мультизадачні ОС для персональних комп'ютерів вже можна віднести до ОС загального призначення, оскільки їх можна використовувати для найрізноманітніших цілей – такі великі їхні можливості.

За режимом обробки задач розрізняють ОС, що забезпечують однопрограмний і мультипрограмний (мультизадачний) режими. До однопрограмних ОС відноситься, наприклад, всім відома, хоча нині вже практично і не використовується, *MS DOS*.

Нагадаємо, що під *мультипрограмуванням* розуміється спосіб організації обчислень, коли на однопроцесорній обчислювальній системі створюється видимість одночасного виконання декількох програм. Будь-яка затримка у вирішенні програми (наприклад, для здійснення введення-виведення даних) використовується для виконання інших (таких же або менш важливих) програм.

Якщо брати до уваги спосіб взаємодії з комп'ютером, то можна говорити про діалогові системи і системи пакетної обробки. Частка останніх хоч і не убуває в абсолютному обчисленні, але в процентному відношенні вона істотно скоротилася порівняно з діалоговими системами.

При організації роботи з обчислювальною системою в діалоговому режимі можна говорити про однокористувальну (однотермінальну) і мультитермінальну ОС. У мультитермінальних ОС з однієї обчислювальної системою одночасно можуть працювати кілька користувачів, кожен зі свого терміналу. При цьому у користувачів виникає ілюзія, що у кожного з них є власна обчислювальна система.

Основною особливістю *операційних систем реального часу (ОСПЧ)* є забезпечення обробки завдань, що надходять протягом заданих інтервалів часу, які не можна перевищувати. Потік завдань у загальному випадку не є планомірним і не може регулюватися оператором (характер проходження подій можна передбачити лише в рідкісних випадках), тобто завдання надходять в непередбачувані моменти часу і без усякої послідовності. Однією з найбільш відомих ОСПЧ для персональних комп'ютерів є ОС *QNX*.

За основним архітектурним принципом операційні системи поділяються на *мікроядерні* і *макроядерні (монолітні)*. Деякою мірою цей поділ також є умовним, однак можна як яскравий приклад мікроядерної ОС привести ОСПЧ *QNX*, тоді як монолітною можна назвати *Windows* або *Linux*. Якщо ядро ОС *Windows* ми не можемо змінити, нам не доступні його вихідні коди і у нас немає програми для зборки (компіляції) цього ядра, то у випадку з *Linux* ми можемо самі зібрати те ядро, яке нам необхідно, включивши в нього ті програмні модулі і драйвери, які ми вважаємо доцільними включити саме в ядро (адже до них можна звертатися і з ядра).

З середини 80-х років почали рости і розвиватися мережі персональних комп'ютерів, керованих *мережевими та розподіленими операційними системами*. У мережевій операційній системі користувачі знають про існування численних комп'ютерів, можуть реєструватися на віддалених машинах і копіювати файли з однієї машини на іншу. Кожен комп'ютер працює під управлінням локальної операційної системи і має свого власного локального користувача (або користувачів).

Мережеві операційні системи несуттєво відрізняються від однопроцесорних операційних систем. Ясно, що вони потребують мережевий інтерфейсний контроль і спеціальне низькорівневе програмне забезпечення, що підтримує роботу контролера, а також у програмах, які дозволяють користувачам віддалену реєстрацію в системі і доступ до віддалених файлів. Однак ці доповнення, по суті, не змінюють структури операційної системи.

Програмне забезпечення ПК

Класифікація ПЗ

Програмне забезпечення (ПЗ) – сукупність програм, які забезпечують працездатність *ПК*, використовуються програмістами і користувачами *ЕОМ* при рішенні різноманітних завдань.

Програмне забезпечення (*software*) в загальній сумі витрат на створення комп'ютерів складає більш ніж 70 % і з часом ця частка *збільшується*, а витрати на апаратні засоби (*hardware*) знижуються.

Програмне забезпечення ПК підрозділяється на таке:

- – системне;
- – базове (інструментальне);
- – прикладне.

Класифікація ПЗ

1. Системне ПЗ.

Операційна система (ОС) є ядром системного ПЗ комп'ютера і визначає його функціональні можливості. Операційна система виконує наступні головні функції:

а) управляє комп'ютером, підтримує роботу будь-яких програм, забезпечує їх взаємодію з апаратурою (драйвери пристроїв), здійснює розподіл оперативної пам'яті, реакцію на події, що виникають в процесі роботи, ситуації і т. д.;

б) організовує структуру даних (так звана *файлова система*);

в) забезпечує користувачеві зручний спосіб спілкування – *інтерфейс*.

Операційні оболонки. Часто буває не зовсім зручно робити операції над файлами і каталогами засобами ОС, і щоб полегшити спілкування з ПК були створені так звані *операційні оболонки* – програми, що значно полегшують взаємодію з ПК в найбільш поширених типових ситуаціях і режимах. Вони дозволяють наочно показати структуру інформації, що зберігається на комп'ютері, легко здійснювати операції над файлами і каталогами: створення, перейменування, перегляд і редагування, видалення тощо.

Найбільш популярними програмами-оболонками для різних операційних систем є *Norton Commander, Total Commander, Norton Navigator, FAR* та ін.



Рис. 1.3. Програмне забезпечення ПК

Допоміжні програми (утиліти). Так називають програми допоміжного призначення. Найчастіше використовуються наступні типи утиліт:

– антивірусні програми – призначені для запобігання зараження комп'ютерним вірусом і ліквідації наслідків зараження;

– програми пакувальники (архіватори) – дозволяють завдяки застосуванню спеціальних методів «упаковки» інформації стискати інформацію на дисках;

– програми для діагностики комп'ютера – дозволяють перевірити працездатність його пристроїв;

– програми для оптимізації дисків – забезпечують швидший доступ до інформації на диску завдяки оптимізації даних на диску;

– програми-кеші для дисків – прискорюють доступ до інформації на дисках шляхом організації в оперативній пам'яті кеш-буфера, що містить найбільш часто використовувані ділянки диска;

– програми обмеження доступу – дозволяють захистити дані, що зберігаються на комп'ютері, від небажаних користувачів.

2. Базове ПЗ.

Системи програмування служать для розробки нових комп'ютерних програм. Зазвичай в них входять:

– компілятор, що здійснює перетворення програм на мові програмування в програму в машинних кодах;

– редактор текстових програм;

– бібліотеки підпрограм, які містять заздалегідь підготовлені підпрограми, якими можуть користуватися програмісти;

– різні допоміжні програми: налагоджувачі програм, програми для отримання перехресних посилань і таке інше.

Системи управління базами даних (СУБД) дозволяють управляти великими інформаційними масивами – базами даних, в яких багато різних видів об'єктів, пов'язаних один з одним деякими співвідношеннями. Вони забезпечують введення, пошук, сортування записів, складання звітів і т. д.

Редактори, видавничі системи. Редагування – одна з найпоширеніших операцій при роботі з будь-якими файлами. Редактори-програми, призначені для введення, редагування і підготовки до друку на принтер різноманітних текстів, звітів, описів, довідок, статей та інших документів.

Існує безліч програм, починаючи від простих текстових редакторів і закінчуючи складними програмними комплексами для обробки графічних зображень або документів довільного виду (книг, журналів тощо).

Залежно від можливостей, редактори можна розділити на такі типи:

- Вбудовані редактори. Входять як частина інших програмних систем. Як правило прості і мають обмежені можливості. Широко застосовуються вбудовані редактори сервісних систем.

- Редактори комп'ютерних програм. Вбудовані в систему програмування і дозволяють створювати тексти програм на алгоритмічній мові та інші нескладні тексти. До текстових відносяться редактори систем програмування.

- Редактори документів, які орієнтовані на обробку текстів, що мають структуру документу (складається з розділів, сторінок, речень, абзаців).

- Редактори наукових документів окрім функцій редакторів документів можуть формувати складні формули (математичні, хімічні, спеціальні знаки і так далі).

- Видавничі системи – для оформлення книг, журналів, рекламних буклетів та іншої друкарської продукції високого класу. Мають засоби підготовки тексту, ілюстрацій графіків, різних шрифтів. Розвинені можливості розміщення матеріалу різнотипного характеру на сторінці. Вони побудовані за принципом «що ви бачите, то ви отримаєте».

Універсальні прикладні програми або інші програми офісного призначення використовуються практично в усіх ділових застосуваннях комп'ютерів. Це редактори текстів, табличні процесори, графічні редактори, програми підготовки презентацій, записники і т. д. Саме такий набір програм зазвичай входить в комплект офісних програм *Microsoft Office*, *Perfect Office* та ін. Серед інших офісних програм варто відзначити:

- програми розпізнавання символів (*FineReader*, *Cunieform*);

- програми перекладачі (*Stylus*, Сократ та ін.), які дозволяють здійснювати переклад тексту з однієї мови (англійська, французька, німецька, російська і т.д.) на іншу;

- програми словники (Лінгво, Поліглотум, Мультилекс та ін.);

- програми перевірки правопису і граматики (ОРФО, Пропис).

3. Прикладне ПЗ.

До цієї групи відносяться програми спеціального призначення: бухгалтерські, правові бази даних, програми фінансового аналізу, системи автоматичного проектування, статистичні програми і багато інших.

Приклад 1. Яка кількість інформації міститься у повідомленні про подію, якщо ймовірність цієї події дорівнює $\frac{3}{24}$?

$$I(A) = -\log_2 P(A);$$

$$P(A) = \frac{3}{24} = \frac{1}{8};$$

$$I(A) = -\log_2 \frac{1}{8} = \log_2 8 = 3.$$

Відповідь: 3 біт.

Приклад 2. Ймовірність того, що в місті N завтра буде ясно, дорівнює $p_1 = \frac{1}{2}$, ймовірність того,

що завтра буде хмарно, дорівнює $p_2 = \frac{1}{4}$; ймовірність того, що завтра буде дощ, дорівнює $p_3 = \frac{1}{8}$.

Скільки інформації буде в повідомленні про те, що пішов дощ?

$$\bar{I} = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i$$

$$\bar{I} = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i = \frac{1}{2} \cdot \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \cdot \log_2 \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \cdot \log_2 \frac{1}{8} = \frac{1}{2} \cdot 1 + \frac{1}{4} \cdot 2 + \frac{1}{8} \cdot 3 = 1\frac{3}{8}.$$

Відповідь: $1\frac{3}{8}$ біт.

Питання, винесені на самостійне вивчення

1. Формула Хартлі. Формула Шенона.
2. Основні характеристики сучасних ПК.
3. Сучасні операційні системи і операційні оболонки.
4. Редактори, видавничі системи, універсальні застосовні програми.

Питання, винесені на семінар

1. Що таке інформатика?
2. Яка головна функція інформатики?
3. Назвіть завдання інформатики.
4. Що таке інформація?
5. Від чого залежить кількість інформації, яка міститься в повідомленні про будь-яку випадкову подію?
6. Що таке сигнал? Які типи сигналів ви знаєте?
7. Що таке повідомлення, дані, канал зв'язку?
8. Що таке кодування? Які види кодування ви знаєте?
9. Що таке ізоморфізм?
10. У чому вимірюється кількість інформації?
11. Що таке інформаційна ентропія?
12. Що таке медична інформатика? Що є об'єктом її вивчення?
13. Що таке обчислювальна система?
14. Що входить в структурну схему ПК?
15. Що таке медичні інформаційні технології?
16. Види запам'ятовуючих пристроїв.
17. Види пам'яті і їх основні функції.
18. Що таке програмне забезпечення (ПЗ) ПК? Його класифікація.
19. Що таке файл, файлова система, утиліти?

Тестові завдання для самоконтролю

1. У загальному сенсі інформатика – це:
 - A. Галузь людської діяльності, що пов'язана з процесами перетворення інформації за допомогою комп'ютерів та їх взаємодією із середовищем застосування.
 - B. Галузь людської діяльності, що пов'язана з розробкою комп'ютерної техніки на основі використання останніх досягнень науки.
 - C. Наука про загальні принципи управління в різних системах.
 - D. Наукова дисципліна, що займається вивченням каналів зв'язку.
 - E. Наука, що вивчає процеси обміну інформацією в організмах, колективах і популяціях.
2. Під алфавітом розуміють:
 - A. Інформацію, представлену в нормалізовану вигляді та призначену для обробки її технічними засобами (наприклад, ЕОМ).
 - B. Будь-який фізичний процес, що несе інформацію.
 - C. Інформацію в певній формі, яку призначено для передачі.
 - D. Кінцевий набір символів або сигналів, відмінних один від одного.
 - E. Будь-який дискретний набір символів або сигналів.
3. Якщо ймовірність події прямує до нуля, то кількість інформації наближується до:
 - A. 0,5.
 - B. 1.
 - C. ∞ .
 - D. 0.
 - E. $-\infty$.
4. 1 біт – це інформація, що міститься в повідомленні про те, що відбулася подія, ймовірність якого дорівнює:
 - A. $\frac{1}{2}$
 - B. 1
 - C. 0
 - D. ∞
 - E. $-\frac{1}{2}$
5. Повідомлення – це:
 - A. Інформація, що представлена у формалізованому вигляді і призначена для обробки її технічними засобами (наприклад, ЕОМ).
 - B. Інформація в певній формі, яка призначена для передачі (або впорядкована сукупність сигналів, здатних переносити інформацію).
 - C. Будь-який фізичний процес, що несе інформацію (або будь-який процес, що впливає на сенсорні системи).
 - D. Кінцевий набір символів або сигналів певної фізичної природи, відмінних один від одного.
 - E. Будь-який кінцевий набір символів.
6. Інформатика як сукупність засобів перетворення інформації включає:
 - A. Джерело інформації, канал зв'язку, повідомлення.
 - B. Технічні засоби, програмні продукти, математичні методи, моделі та алгоритми.
 - C. Джерело інформації, кодуючий пристрій, декодер, одержувач інформації.
 - D. Повідомлення, дані, сигнал.
 - E. Повідомлення, дані, сигнал, канал зв'язку.
7. Інформаційна ентропія – це:
 - A. Міра впорядкованості детермінованою системи.
 - B. Міра розсіювання інформації.
 - C. Міра замкнутості інформаційної системи.
 - D. Міра визначеності ситуації.
 - E. Міра невизначеності ситуації.

ТЕМА 2

КОДУВАННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЯ МЕДИЧНИХ ЗАВДАНЬ

Велика кількість даних в охороні здоров'я, наприклад, діагнози, історії хвороб, дані медичного огляду або результати флюорографії представлені текстом. Це призводить до нескінченного списку можливих висновків. Проте статистичні перегляди і системи ухвалення рішень можуть обробити тільки кінцеву кількість таких класів. Правила представлення висновків мають бути визначені об'єктивними критеріями. Визначення такого висновку для конкретного класу завжди передбачає зменшення (тобто втрату інформації) даних, але це не обов'язково недолік.

Ми користуємося стандартною термінологією, яку застосовують в Організації Міжнародних Стандартів (*ISO – International Standards Organization*). Це означає, що три основні елементи використовуються в так званому семантичному трикутнику: (1) об'єкт, (2) поняття і (3) термін.

У традиційній історії хвороби інформація представлена тільки у письмовій формі, переважно як вільний текст, але іноді також в числовій формі (наприклад, лабораторні результати аналізів). Історія хвороби, передусім, використовується безпосередньо для догляду за пацієнтом, для постановки діагнозу, лікування і прогнозування. Відновлення історії хвороби іншим лікарем перешкоджає встановленню реальних фактів, тому що деякі медичні терміни можуть бути неточно вказані або навіть неоднозначно трактуватися.

Таким чином, дані стають доступними в комп'ютерних записах (*computer-based patient records – CPRs*). Зберігання інформації в електронному вигляді може мати й іншу мету. Так, наприклад, при приписуванні ліків можна запустити систему підтримки ухвалення рішень, яка перевіряє протипоказання або взаємодію з іншими ліками. Така система зможе діяти належним чином лише в тому разі, якщо усі хвороби і симптоми хворого записані стандартизовано і послідовно.

Історія класифікації і кодування

На сьогоднішній день не існує стандартного підходу до кодування та класифікації. Існує величезна кількість варіантів Міжнародної класифікації в системі Охорони здоров'я (*ICPC – International Classification for Primary Care*) з різними модифікаціями і доповненнями. Відповідальною за цю систему класифікації є Всесвітня організація сімейних лікарів (*WONCA – World Organization of Family Doctors, www.globalfamilydoctor.com*).

Найбільш широке використання в системі охорони здоров'я отримала Міжнародна класифікація хвороб (*MKX, або ICD – International Classification of Diseases*). Першою спробою реєстрації хвороб були Письмові звіти Лондона про смертність в 1629 р. У 1891 р. Міжнародний статистичний інститут (*ISI – International Statistical Institute*) доручив комітету під головуванням Жака Бертильона (фр. *Jacques Bertillon, 1851–1922 pp.*), начальнику Статистичної служби Парижу, підготовку класифікації причин смерті. Бертильон представив звіт цього комітету Міжнародному статистичному інституту, який і прийняв звіт на сесії, що відбулася в 1893 р. в Чикаго.

Класифікація причин смерті Бертильона отримала загальне визнання і була зроблена для використання декількома країнами. Цей список причин смерті регулярно переглядався під спостереженням *ISI* до п'ятого видання включно в 1938 р. До того ж список кодів передусім використовувався для статистики смертності. Компанії страхування здоров'я, лікарні, установи медичного обслуговування, армія та інші організації потребували розширення списку кодів для реєстрації хвороб. Десятий перегляд Міжнародної класифікації хвороб і проблем, пов'язаних зі здоров'ям, є останнім в серії переглядів класифікацій, яка була розпочата в 1893 р. як класифікація Бертильона, або Міжнародний перелік причин смерті, і в 1948 р., при шостому перегляді, була розширена внаслідок включення станів, які не призводять до летального результату.

Метою *MKX* є створення умов для систематизованої реєстрації, аналізу, інтерпретації і порівняння даних про смертність і захворюваність, які отримані в різних країнах або регіонах і в різний час. *MKX* використовується для перетворення словесного формулювання діагнозів хвороб та інших проблем, пов'язаних зі здоров'ям, у літерно-цифрові коди, що забезпечують зручність зберігання, витягання і аналізу даних.

MKX стала міжнародною стандартною діагностичною класифікацією для усіх спільних епідеміологічних цілей і багатьох цілей, які пов'язані з управлінням охороною здоров'я. Основою класифікації *MKX-10* є тризначний код, який служить обов'язковим рівнем кодування даних про смертність, які окремі країни надають Всесвітній організації охорони здоров'я (*BOOЗ – World Health Organization – WHO*), а також при проведенні основних міжнародних порівнянь.

Сьогодні в Україні використовується цілий ряд місцевих класифікацій. Національна програма інформатизації системи охорони здоров'я в Україні за 2006–2010 рр. (проект) стимулює створення Уніфікованої системи кодування і класифікації медичних даних. Така Уніфікована система більшою мірою має бути ґрунтована на *MKX-10* і введена в систему комп'ютерного кодування.

Класифікація та кодування

Термін «класифікація» має два різні значення: по-перше, це процес проектування системи класифікації, по-друге, це сам процес кодування (опис об'єкту з використанням кодів або умов) у рамках певної системи класифікації. Можна зауважити, що класифікація – основа кодування.

В даному розділі ми використовуватимемо цей термін лише в першому значенні, тобто класифікація – це впорядкована в межах певної галузі система понять з явними або неявними принципами устрою. Класифікація базується на попередніх знаннях і формує ключ до розширення або поглиблення знань.

Мета класифікації полягає в тому, щоб підтримувати створення статистики охорони здоров'я або полегшувати дослідження. Прикладом може служити класифікація відхилень електрокардіограм або діагнозів у певному класі хвороб.

Сьогодні відомі такі три методи класифікації об'єктів: ієрархічний, фасетний, дескрипторний. Дані методи розрізняються стратегією застосування класифікаційних ознак. Розглянемо основні ідеї цих методів для створення систем класифікації.

Ієрархічна система класифікації (рис. 2.1) будується так:

- вихідна множина елементів складає 0-й рівень і ділиться залежно від обраної класифікаційної ознаки на класи (угруповання), які утворюють 1-й рівень;
- кожен клас 1-го рівня відповідно до своєї, характерної для нього класифікаційної ознаки, ділиться на підкласи, які утворюють 2-й рівень;
- кожен клас 2-го рівня аналогічно ділиться на групи, які утворюють 3-й рівень, і т. д.

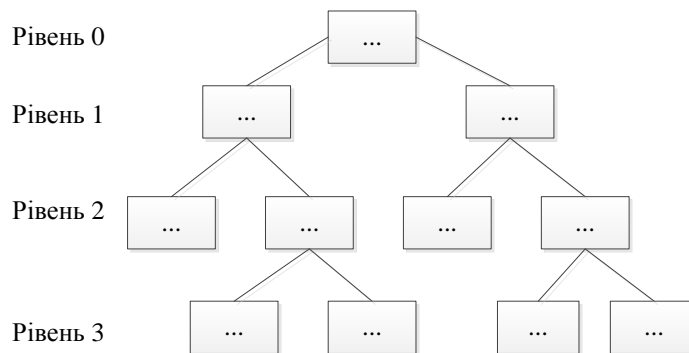


Рис. 2.1. Ієрархічна система класифікації

Ієрархічний принцип класифікації полягає в переході «від загального до конкретного» під час деталізації характеристик ідентифікованого об'єкта і структурно може бути поданий за допомогою графа. У такій системі класифікації інформаційні одиниці, що кодуються, ідентифікуються як відповідні вузли графа, а розмірність кодів, тобто кількість розрядів у них, збільшується в міру переміщення від кореня графа до його вершин. Наприклад, значення елементів структури коду 616.5 у системі УДК.

В ієрархічній системі класифікації кожен об'єкт на будь-якому рівні має бути віднесений до одного класу, який характеризується конкретним значенням обраної класифікаційної ознаки. Для подальшого угруповання в кожному новому класі необхідно задати свої класифікаційні ознаки та їх значення. Кількість рівнів класифікації, відповідна кількості ознак, обраних як основа поділу, характеризує глибину класифікації.

Переваги ієрархічної системи класифікації: простота побудови та використання незалежних класифікаційних ознак у різних гілках ієрархічної структури. Недоліки ієрархічної системи класифікації: жорстка структура, яка призводить до складності внесення змін, оскільки доводиться перерозподіляти всі класифікаційні угруповання; неможливість групувати об'єкти за задалегідь не передбаченим сполученням ознак.

Фасетна система класифікації на відміну від ієрархічної дозволяє вибирати ознаки класифікації незалежно як один від одного, так і від семантичного змісту об'єкта, що класифікується. Ознаки класифікації називаються *фасетами* (facet – рамка). Кожен фасет містить сукупність однорідних значень даної класифікаційної ознаки. Причому значення у фасеті можуть розташовуватися в довільному порядку, хоча краще їх упорядкування. Наприклад, фасет «вік пацієнта» містить значення: 20–39, 40–59, 60–79, 80 і більше; фасет «відділення» містить значення: офтальмологічне, терапевтичне, гінекологічне, хірургічне тощо.

Схема побудови фасетної системи класифікації подається у вигляді таблиці, наведеної на *рис. 2.2*. Назви стовпчиків відповідають виділеним класифікаційним ознакам (фасетам), позначеними $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n$.

У кожній комірці таблиці зберігається конкретне значення фасета «вік пацієнта».

		Фасети				
		D_1	D_2	D_3, \dots	D_i, \dots	D_n
Значення фасетів	1	*	*	*	*	*
	2	*	*	*	*	*
	⋮	*		*	*	*
	Q	*			*	

Рис. 2.2. Фасетна система класифікації

Процедура класифікації полягає у присвоєнні кожному об'єкту відповідних значень з фасетів. Для кожного об'єкта задається конкретне групування фасетів структурною формулою, в якій відображається їх послідовність: $Q_s = (D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n)$, де n – кількість фасетів.

Переваги фасетної системи класифікації: можливість створення великої ємності класифікації, тобто використання великої кількості ознак класифікації та їх значень для створення угруповань; можливість простої модифікації всієї системи класифікації без зміни структури існуючих угруповань. Недоліком фасетної системи класифікації є складність її побудови, оскільки необхідно враховувати все різноманіття класифікаційних ознак.

Для організації пошуку інформації, для ведення тезаурусів (словників) ефективно використовується *дескрипторна (описова) система класифікації*, мова якої наближається до природної мови опису інформаційних об'єктів. Особливо широко вона використовується в бібліотечній системі пошуку.

Суть дескрипторного методу класифікації полягає в наступному:

- відбирається сукупність ключових слів або словосполучень, що описують певну предметну галузь або сукупність однорідних об'єктів;
- вибрані ключові слова та словосполучення піддаються нормалізації, тобто з сукупності синонімів вибирається один або декілька найбільш уживаних;
- створюється словник дескрипторів, тобто словник ключових слів і словосполучень, відібраних внаслідок процедури нормалізації.

Між дескрипторами встановлюються зв'язки, які дозволяють розширити ділянку пошуку інформації. Зв'язки можуть бути трьох видів:

- синонімічні, що вказують деяку сукупність ключових слів як синоніми;
- родовидові, що відображають включення деякого класу об'єкта у більш представницький клас;
- асоціативні, що з'єднують дескриптори, які мають загальні властивості.

Наприклад, синонімічний зв'язок: хворий – нездоровий – захворілий. Родовидовий зв'язок: лікарня – відділення – кабінет. Асоціативний зв'язок: хворий – обстеження – лікар – палата.

При класифікації поняття упорядковуються за родовими зв'язками. Родові зв'язки – це зв'язки типу «А з роду В». Наприклад, пневмонія є хворобою легенів, де пневмонія є вузким поняттям, а хвороба легенів – ширшим. Класифікація дозволяє упорядкувати поняття в межах певної ділянки. Прикладами ділянок є безліч діагнозів, медичні процедури і т. п. У цьому відношенні Міжнародна класифікація хвороб, 9-е видання (*ICD-9 – International Classification of Diseases, 9th edition*) – це класифікація діагнозів. Вона дозволяє порівнювати отримані результати, які зібрані в різних ділянках.

У класифікаціях, які використовують більш ніж один принцип впорядкування, ситуація ускладнюється. У класифікації хвороб ми маємо справу з різними аспектами, серед яких: анатомічне розташування, етіологія, морфологія, дисфункція і т. п. Кожен з цих аспектів може використовуватися для впорядкування. Таке впорядкування шляхом класифікації за певною ознакою називається віссю. Багатоосьові класифікації використовують декілька критеріїв впорядкування одночасно. У Міжнародній класифікації в системі охорони здоров'я (*ICPC*), наприклад, діагнози класифіковані уздовж двох осей, одна – для систем організму (літера), а інша – для компонентів.

Класифікаційне кодування (далі кодування) – це процес віднесення індивідуального об'єкта до певного класу або до набору класів у разі багатоосьової класифікації. У більшості класифікацій класи позначені кодами. Кодування, фактично, – це інтерпретація різних властивостей об'єкта. Коди можуть бути позначені числами, буквами або і тим, і іншим. Нижче приведені різні види кодів.

Числові коди можуть надаватися послідовно. Це означає, що кожен новий клас отримує наступне невикористане число. Перевага в тому, що нові класи можуть бути легко додані. Числові коди можуть надаватися і випадковим чином, щоб уникати будь-якої конкретної інформації, що прихована в коді.

Мнемонічний код формується з одного або декількох символів класу. Це допомагає користувачам запам'ятовувати коди. Проте для класифікацій з багатьма класами це може привести або до довгих кодів, або до кодів, які не схожі з рубриками класу. Таким чином, мнемонічні коди в цілому використовуються для обмежених списків класів. Наприклад, лікарняні відділення часто позначаються мнемонічними кодами.

Ієрархічні коди формуються, розширюючи код, який вже існує на один або більшу кількість додаткових символів для кожного додаткового рівня деталізації. Ієрархічний код несе інформацію відносно рівня деталізації спорідненого класу і відносно ієрархічних зв'язків з його родовим (батьківським) класом. Такий спосіб кодування подібний до структури ієрархічних баз даних із загальнішим класом (батьківським) на вищому рівні і дрібнішими класами (дітьми) на нижчих рівнях. Це означає, що дані можуть бути відновлені, якщо використовувати ієрархічні коди на деякому рівні, навіть коли на нижчих рівнях зроблені важливі модифікації.

Коди зіставлення – це складні коди, що складаються з частин (сегментів). Кожен сегмент характеризує пов'язаний з ним клас. У *ICPC*, наприклад, діагностичний код, який сформовано з використанням коду, що складається з однієї букви алфавіту (мнемонічний код для трактування) і двозначного числа. Наприклад, усі коди із символом «D» пов'язані з процесом травлення, а усі коди, які починаються з «N», описують порушення нервової системи.

Інший приклад – це класифікація медичних процедур, яка використовує впорядковані принципи: дія, устаткування, мета і анатомічне положення. Комбінація 100 анатомічних положень з 20 різними діями, 10 різними інструментами і 5 різними цілями призводить до системи класифікації потужності в 100 000 класів і кодів. Єдиний спосіб впоратися з цим сплеском полягає у використанні *комбінаційного коду*. Комбінаційний шестизначний цифровий код, який складається з чотирьох частин (сегментів), описує: дію (дві цифри), устаткування (дві цифри), мету (одна цифра) і анатомічне положення (одна цифра) відповідно. Служби кодування повинні розрізняти тільки 135 кодів, з яких можуть генеруватися 100 000 комбінацій.

Проблеми класифікації треба відрізнити від проблем кодування: проблеми класифікації торкаються впорядкування понять в деякому відношенні, що логічно побудовані і зручні для застосування потенційними споживачами класифікації.

Проблеми кодування торкаються технічної підтримки, що забезпечується для того, щоб дати можливість кодувальникам ефективним і надійним способом привласнювати певні значення потрібному класу та привласнювати вірний код.

При розробці класифікації хвороб, етіології, розміщення та механізмів патофізіології важливими є принципи класифікації. Проте ми не завжди можемо застосовувати кожен принцип класифікації до усіх хвороб. Використовуючи етіологію як принцип класифікації, ми можемо класифікувати «вірусну пневмонію» як вірусну хворобу, але ми не можемо з такою ж мірою упевненості віднести її до якого-небудь класу «пневмонії». Таким чином, пневмонія буде класифікована як легенева хвороба, якщо використати анатомічний принцип класифікації.

Більшість класифікацій об'єднують декілька принципів на одному рівні. Перекриття класів хвороби порушує правило взаємного виключення. Клас «*легенева хвороба*» перетинається з класом «*вірусна хвороба*». Коли хвороба вже класифікована де-небудь у іншому місці, правило виключення вимагає, щоб хвороба була віднесена лише до одного класу. Проте це викликає проблеми під час статистичного аналізу. Якщо ми хочемо визначити кількість випадків вірусної хвороби, ми не можемо просто включати членів класу «*вірусні хвороби*», тому що «*вірусна пневмонія*» – це також вірусна хвороба, але вона класифікована до класу «*легеневих хвороб*». Додавання ж двох класів включатиме і випадки не вірусних легневих захворювань.

Перегляд великих медичних класифікацій діагнозів і процедур потрібний для кодування історії хворого з медико-економічною метою. Основна проблема перегляду полягає в тому, що мова, яка використовується в класифікації, швидше відрізняється від клінічної мови історії хвороби. Незважаючи на те, хто кодує історію хворого, є труднощі у невідповідності термінів між умовами в класифікації і повному обстеженні хворого. Цей розрив може бути ліквідований, з використанням відповідних комп'ютерних програм.

Міжнародні системи класифікації

ICD (МКБ)

ICD (*International Classification of Diseases*) – це система кодування для узагальненого запису про хворого. Перше видання було опубліковане в 1900 р., воно виправлялося і перевидавалося з десятирічними проміжками. Остання версія – це ICD-10, була видана в 1992 р. ICD складається з основної класифікації тризначних кодів, що є мінімальною вимогою для повідомлення статистики смертності до Всесвітньої організації охорони здоров'я. Код розпочинається з літери, що відповідає певному класу хвороб, потім йдуть дві цифри, що деталізують хворобу (табл. 2.1). Необов'язкова третя цифра, яка є наступною після крапки, що забезпечує додатковий рівень.

Таблиця 2.1

Класи системи МКХ

I	A, B	Деякі інфекційні і паразитарні хвороби
II	C, D48	Новоутворення
III	D50-D89	Хвороби крові, кровотворних органів і окремі порушення, що залучають імунний механізм
IV	E00-E90	Хвороби ендокринної системи, розлади травлення і порушення обміну речовин
V	F00-F99	Психічні розлади і розлади поведінки
VI	G00-G99	Хвороби нервової системи
VII	H00-H59	Хвороби ока і його додаткового апарату
VIII	H60-H95	Хвороби вуха і соскоподібного відростка
IX	I00-I99	Хвороби системи кровообігу
X	J00-J99	Хвороби органів дихання
XI	K00-K93	Хвороби органів травлення
XII	L00-L99	Хвороби шкіри і підшкірної клітковини
XIII	M00-M99	Хвороби кістково-м'язової системи і сполучної тканини
XIV	N00-N99	Хвороби сечостатевої системи
XV	O00-O99	Вагітність, пологи і післяпологовий період
XVI	P00-P96	Окремі стани, що виникають у перинатальному періоді
XVII	Q00-Q99	Природжені аномалії (вади крові), деформації і хромосомні порушення
XVIII	R00-R99	Симптоми, ознаки і відхилення від норми, виявлені при клінічних і лабораторних дослідженнях, не класифіковані в інших рубриках
XIX	S00-S99 T00-T98	Травми, отруєння і деякі інші наслідки дії зовнішніх причин
XX	V, W, X, Y	Зовнішні причини захворюваності і смертності
XI	Z00-Z99	Чинники, що впливають на стан здоров'я населення

Наприклад, діагноз *гострий тонзиліт* відноситься до класу X *Хвороби органів дихання* і має код J03. Захворювання *Стрептококовий менінгіт* відноситься до класу VI *Хвороби нервової системи* і має код G00.2, тоді як *Стафілококовий менінгіт* має код G00.3.

ICPC

Всесвітня організація національних коледжів, академій і академічних асоціацій докторів (*World Organization of National Colleges, Academies and Academic Associations of General Physicians*) не приймала ICD і користувалася власною класифікацією. Міра деталізації цієї системи менша, ніж в ICD. Вона використовується не лише для кодування діагнозів, але також містить коди причин для обґрунтування діагнозу, коди процедур лікування і лабораторних досліджень.

ICPC – це двохосьова система (табл. 2.2). Перша вісь, яка орієнтована у напрямі систем організму, кодується літерою, а друга вісь – двома цифрами.

У цій системі діагноз пневмонія кодується R81 (R для дихальних шляхів і 81 для діагностичного компонента). Коди, які можуть застосовуватися більш ніж до однієї системи організму, описуються як двозначний компонент. Наприклад, код процедури 42 (електричне обстеження) може використовуватися для реєстрації електрокардіограми, застосовуючи код K42. Такі коди вимагають комбінації з літерою системи.

Структура системи ICPC

	Системи організму									
Компоненти										
Симптоми і скарги (1–29)										
Діагностичне обстеження і попередження (30–49)										
Обробка і лікування (50–59)										
Результати тестів (60–61)										
Адміністративний (62)										
Інші (63–69)										
Діагнози (70–99)										

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| A Загальна | R Дихальна |
| B Кров | S Шкіра |
| D Травлення | T Ендокринна система, метаболізм |
| F Зір | U Урологія |
| H Слух | W Вагітність, планування сім'ї |
| K Кровообіг | X Жіноча статева система |
| L Скелетно-мускульна | Y Чоловіча статева система |
| N Неврологічна | Z Соціальні проблеми |
| P Психологічна | |

На сьогоднішній день користуються другим переглядом даного класифікатора, тобто ICPC-2 (рис. 2.3).

ICPC-2 – Українська Міжнародна Класифікація ПМД – 2 Видання Wonca International Classification Committee (WICC) Wonca	Кров, кровотворні органи та імунна система В	Око F	Легеня символів K93 Флабелл / тромбоцитацит K94 Варикозне розширення вен ніг K95 Геморрой K96 Застороженість (К) інші Опорно-рухова система L
	КОДИ ПРОЦЕСІВ -30 Новіше медичне обстеження -31 Часткове медичне обстеження -32 Тест на чутливість -33 Мікробіологічний / вірусологічний тест -34 Аналіз крові -35 Аналіз сечі -36 Аналіз калу -37 Гістологія / цитологія -38 Інші лабораторні дослідження НКІ -39 Дослідження фізичних функцій -40 Діагностичні процедури -41 Діагностична радіологія / візуалізація -42 Занесення потенціалу (ЕКГ, вг.) -43 Інші діагностичні процедури -44 Імунізація/профілактичне лікування -45 Надгляд/назначення консультації/ліста -46 Консультація зі спеціалістом -47 Уточнення/обговорення причини звернення -48 Інші профілактичні процедури -49 Призначення ліків/в'єскані -50 Розрешення /дренаж/промивання/аспірація -51 Висадження тканини /обов'язкове санація -52 Катетеризація /вігубна / дилатація -53 Відновлення /накладання шини / гіпсу /протез -54 Масажи /в'єскані / інфразвук -55 Переа/в'єска / пов'єска / замовнація -56 Фізична медицина/ реабілітація -57 Психотерапія -58 Інші терапевтичні процедури НКІ -59 Результати тестів / процесур -60 Результати обстеж./тестів від ін. організації -61 Адміністративна робота -62 Невизначене звернення -63 Звернення, відіслане медіапринципом -64 Звернення, відіслане третью особою -65 Направлення до ін. працівника (не лікар) -66 Направлення до ін. лікаря/спеціаліста/лікарні -67 Інші направлення НКІ -68 Інша причина звернення НКІ	КОДИ ПРОЦЕСІВ СИМПТОМИ / СКАРГИ ІНФЕКЦІЇ НОВОУТВОРЕННЯ ТРАВМИ ВРОДЖЕНІ ВАДИ ІНШІ ДІАГНОЗИ	Вуха H
	Травна система D		

Рис. 2.3. Класифікатор ICPC-2

ICPC-2 має близько 1 300 кодів, які описують проблеми, що найбільше трапляються (більше ніж 1 випадок на 1 000 пацієнтів на рік). Рівень деталізації цих проблем є відповідним для первинної медичної допомоги. Крім того, можна налаштувати ICPC-2 відповідно до місцевих епідеміологічних потреб. Для порівняння: наявна сьогодні Міжнародна класифікація хвороб (МКХ-10) містить від 14 000 до 140 000 кодів зі складною системою кодування, більшість з яких не використовується. Застосовувати МКХ-10 з відповідною деталізацією можливо в умовах стаціонарних відділень лікарень, де застосовується лише обмежена кількість кодів МКХ відповідно до спеціалізації конкретного відділення.

Базовим поняттям в ICPC-2 є епізод медичної допомоги – взаємодія пацієнта з медичним закладом від першого візиту до медичного працівника до останнього візиту (включно) з цією ж проблемою. Це дозволяє ефективно групувати медичну інформацію, коли дані різних окремих візитів «нанизуються» на один епізод медичної допомоги. Наприклад, пацієнт з хронічними захворюваннями часто звертається до медичних закладів і нерідко під час одного візиту вказує декілька різних проблем. ICPC-2 дозволяє лікарю структурувати медичні записи про пацієнта в розрізі його окремих хронічних захворювань. Це в результаті покращить якість медичної допомоги і дозволить оптимально розпланувати ресурси первинної медичної допомоги відповідно до потреб пацієнтів.

DSM

Система кодування (*DSM*), яка розроблена Американською психіатричною асоціацією, служить цілям діагностування і статистичній обробці розумових порушень. Перше видання (*DSM-I*) було опубліковане в 1952 р. При розробці наступних версій (*DSM-II*, *DSM-III*, *DSM-II-R*, і *DSM-IV*) за основу брали систему *ICD*. *DSM* – це багатоосьова система класифікації. Подібно до *ICPC*, *DSM* також використовує визначення порушень, у тому числі критерії для встановлення діагнозу.

Система класифікатора *DSM* складається з п'яти осей:

- клінічні синдроми;
- порушення особистості та спеціальні порушення, затримка психічного розвитку;
- важливі фізичні умови, загальні соматичні стани;
- наявність психологічних стресів;
- повне психологічне функціонування.

SNOMED

SNOMED (*Systematized Nomenclature of Human and Veterinary Medicine* – Міжнародна систематизована номенклатура людської і ветеринарної медицини) дозволяє кодування декількох аспектів хвороби. *SNOMED* була опублікована в 1975 р. і перевидана в 1979 р. *SNOMED* також є багатоосьовою системою. Код *SNOMED* складається з 11 модулів. Кожен з цих модулів формує повну ієрархічну систему класифікації (табл. 2.3).

Діагноз в *SNOMED* складається з топографічного коду, коду морфології, коду живих організмів і коду функції. Коли існує чітка основа для комбінації цих чотирьох кодів, то діагностичний код вважається знайденим. Наприклад, код хвороби D-13510 (Пневмонія Пневмококова) рівноцінна комбінації:

T-28000 (топологічний код для Легенів);

M-40000 (морфологічний код для Запалень);

L-25116 (для Стрептококової пневмонії) уздовж осі Життя організмів.

Туберкульоз (D-14800), наприклад, міг би також кодуватися як Легені (T-28000) + Гранулема (M-44000) + Туберкульоз *Mycobacterium* (L-21801) + Лихоманка (F-03003). Проте це може вводити в оману, оскільки туберкульоз відноситься не лише до легенів.

SNOMED також може об'єднувати медичні поняття, використовуючи так звані комбіновані або розташовані рядом коди для формування складніших понять (табл. 2.3). Правила об'єднання умов *SNOMED* для формування складних понять ще не розроблені. Будь-які два терміни *SNOMED* можуть бути об'єднаними. Це означає, що існують різні шляхи для вираження коду того або іншого поняття. Ця свобода об'єднання кодів призводить до неточних результатів, перевірка яких комп'ютером на коректність практично неможлива.

Таблиця 2.3.

Розділи Міжнародної класифікації *SNOMED*

Вісь	Визначення	Опис
T	Топографія	Анатомічні умови
M	Морфологія	Зміни, які знайдені в клітинах, тканинах і органах
L	Життя організмів*	Бактерії і віруси
C	Хімічний	Ліки
F	Функція	Знаки та симптоми
J	Заняття	Умови, які описують заняття
D	Діагноз	Діагностичні умови
P	Процедура	Адміністративні, діагностичні та терапевтичні процедури
A	Фізичні представники, сили, дії	Пристрої дії, які пов'язані з хворобою
S	Громадський контекст	Громадські умови та важливі взаємодії в медицині
G	Загальний	Синтаксичні об'єднання та визначення

* Живі організми – розширена класифікація представників тваринного та рослинного світу. Включає практично усі чинники, що викликаються, або патогенні фактори.

Алгоритми та їх властивості

Формалізація – процес представлення інформації про об'єкт у вигляді алгоритму. В результаті аналізу завдання визначається специфіка даних, вводиться система умовних позначень, встановлюється приналежність її до одного з класів задач (наприклад, математичні, фізичні, медичні тощо).

Якщо певні аспекти задачі, що вирішується в термінах якої-небудь формальної моделі (певної структури, яка використовується для представлення даних), то це, безумовно, необхідно зробити, оскільки в цьому випадку в рамках формальної моделі можна дізнатися, чи існують методи і алгоритми рішення поставленої задачі. Навіть якщо вони не існують, то використання засобів і властивостей формальної моделі допоможе в побудові рішення задачі.

Формалізоване медико-біологічне завдання має бути алгоритмізованим. Під алгоритмізацією розуміють метод опису систем або процесів шляхом створення алгоритмів їх функціонування.

Під алгоритмом, за звичаєм, розуміють правило, яке вказує дії, в результаті виконання яких приходимо до шуканого результату. Таку послідовність дій називають алгоритмічним процесом, а кожну дію – його кроком. Етап алгоритмізації в загальному випадку настає лише тоді, коли зрозуміла постановка завдання, коли існує чітка формальна модель, у рамках якої буде, власне, відбуватися рішення задачі. З цієї точки зору процес підготовки завдання передбачає:

- постановку завдання – визначення його змісту і початкових даних;
- розробку алгоритму рішення – вибір методу рішення та опис послідовності дій;
- представлення алгоритму рішення – побудову структурної схеми алгоритму.

У IX ст. узбецький математик Мухаммед, уродженець Хорезма (араб. «аль-Хорезмі»), розробив правила виконання чотирьох арифметичних дій над числами в десятковій системі числення. Безліч цих правил назвали алгоритмом (*algorithmi* – від латинського написання імені аль-Хорезмі), а потім словом «алгоритм» почали позначати сукупність правил певного виду, а не тільки правила виконання арифметичних дій.

Алгоритм – це впорядкований кінцевий набір чітко певних правил для вирішення завдань за кінцеву кількість кроків.

Говорячи про алгоритми, необхідно розглянути джерело їх виникнення.

Перше джерело – це практика, наше повсякденне життя, яке надає можливість, а іноді і вимагає отримувати алгоритми шляхом опису дій рішення різних завдань. Такі алгоритми називаються емпіричними. Друге джерело – це наука. З теоретичних положень і встановлених фактів можуть бути виведені алгоритми. Так, на підставі теоретичних законів можна побудувати алгоритми для управління різними технологічними процесами. Третім джерелом є різні комбінації і модифікації вже наявних алгоритмів.

Прикладами алгоритмів можуть бути правила приготування ліків в аптеці, інструкції прийняття ліків, процес лікування хворого тощо.

Властивості алгоритмів

Будь-який алгоритм повинен мати такі основні властивості:

Визначеність. Алгоритм не повинен містити вказівок, зміст яких може бути сприйнятий неоднозначно. Крім того, після виконання чергової вказівки алгоритму не повинно виникати жодних розбіжностей відносно того, яка вказівка виконуватиметься наступною. Інакше кажучи, при виконанні алгоритму ніколи не повинна з'являтися потреба в ухваленні будь-яких рішень, непередбачених укладачем алгоритму.

Масовість. Алгоритм складається не для вирішення одного конкретного завдання, а для цілого класу завдань одного типу. У простому випадку ця варіативність алгоритму забезпечує можливість використання різних допустимих вихідних даних.

Дискретність. Процес, який описується алгоритмом, має бути розділений на послідовність окремих дій. Описи, які при цьому виникають, є послідовністю чітко відокремлених одна від одної вказівок, які утворюють дискретну структуру алгоритмічного процесу, – лише виконавши вимоги однієї вказівки, можна перейти до наступної.

Результативність – обов'язкова властивість алгоритмів. Її суть полягає в тому, що при точному виконанні усіх вказівок алгоритму процес ухвалення рішення (отримання результату) повинен закінчитися через кінцеву кількість кроків, і при цьому має бути отримана відповідь на поставлені в завданні питання.

Способи представлення алгоритмів

Існує декілька способів представлення алгоритмів, які наведено на *рис. 2.4*.

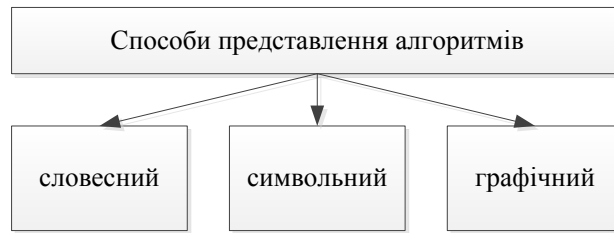


Рис. 2.4. Способи представлення алгоритмів

Словесний спосіб полягає в описі алгоритму в термінах рідної мови. Цей спосіб застосовується рідко, оскільки запис при цьому має досить громіздкий вигляд і можуть виникнути суперечливі тлумачення алгоритму.

Символьний спосіб полягає в записі алгоритму за допомогою умовних символів. Цей спосіб представлення алгоритму робить запис алгоритму дуже коротким і не наочним.

Графічний спосіб – зображення алгоритму у вигляді структурної схеми, що складається з окремих блоків. Він є найбільш зручним і наочним.

При представленні завдання графічним способом застосовують наступні основні види блоків.

При складанні структурної схеми алгоритму укладач повинен дотримуватися таких правил (так званих правил для складання структурної схеми алгоритму):

- будь-який алгоритм повинен мати початок і кінець;
- усі блоки, окрім перевірки умови, мають тільки один вихід;
- усі блоки алгоритму мають не більше одного входу;
- лінії алгоритму не можуть розгалужуватися;
- типи алгоритмів і їх структурні схеми.

ТИПИ АЛГОРИТМІВ

Лінійні алгоритми

У найпростішому випадку алгоритм складається з однієї чи декількох дій, що повинні бути виконані у строгой послідовності, без жодних умов і строго відповідно з тим порядком, у якому записані оператори програми. Такий алгоритм називається *лінійним* (*рис. 2.5*).



Рис. 2.5. Схематичне зображення лінійного алгоритму

Розгалужені алгоритми

Алгоритм, в якому передбачається перевірка певного твердження, називають *розгалуженим*.

Розгалуження – це така форма організації дій, при якій залежно від виконання або невиконання деякої умови здійснюється та або інша послідовність дій.

Умова – це будь-яке твердження або запитання, що допускає лише дві можливі відповіді «так» (істинне твердження) або «ні» (твердження помилкове).

Для виконання певної вказівки S треба спочатку визначити хибне або істинне твердження P . Якщо твердження P істинне, то виконуємо вказівку $S1$, і на цьому вказівка S закінчується (рис. 2.6). Якщо ж твердження P хибне, то виконується вказівка $S2$ (або вона не передбачена умовою задачі), і на цьому вказівка S закінчується (рис. 2.7).

Розглянемо задачу, що формалізована за допомогою розгалуженого алгоритму.

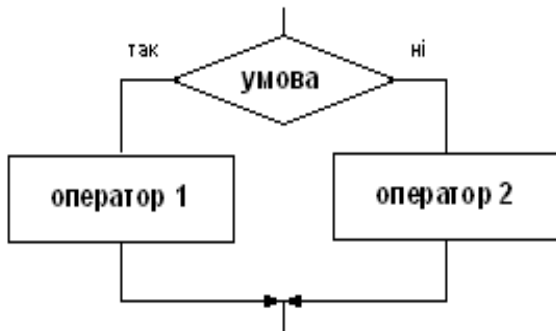


Рис. 2.6. Повна форма розгалуження

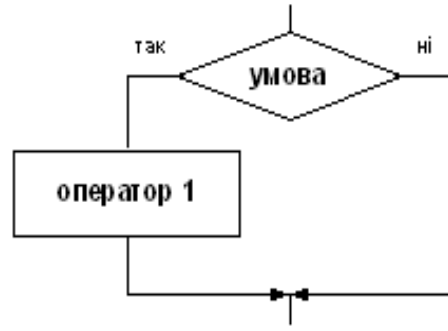


Рис. 2.7. Неповна форма розгалуження

Циклічні алгоритми

Алгоритми, в яких передбачено багаторазове повторення деякої послідовності дій, називають *циклічними*.

Цикл (вказівка повторення) – це алгоритмічна конструкція, за допомогою якої деяка серія операторів повторюється деяку кількість разів для різних значень величин, що є в циклі.

Кількість повторень у циклі повинна бути скінченною. Розрізняють цикли, де ця кількість відома заздалегідь та де вона невідома (цикл з x передумовою). Кількість кроків циклу при цьому залежить від виконання або невиконання деякої умови, яка перевіряється на кожному кроці циклу.

Цикл з передумовою – коли ми спочатку перевіряємо умову, а потім виконуємо деяку послідовність дій (рис. 2.8).

Цикл з післяумовою – спочатку ми виконуємо хоч один раз необхідну послідовність дій, а потім перевіряємо, чи не досягли ми бажаного результату (рис. 2.9).

Мовою блок-схем обидва типи циклів виглядають наступним чином:

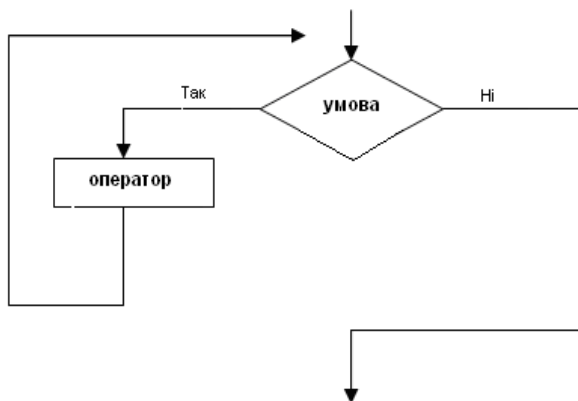


Рис. 2.8. Цикл з передумовою

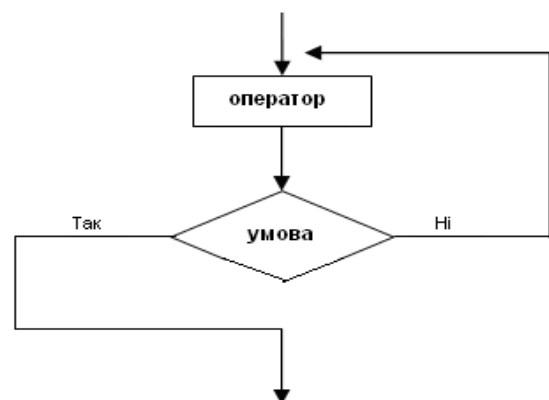


Рис. 2.9. Цикл з післяумовою

Питання, які винесені на семінар

1. Поняття семантичного трикутника.
2. Визначення класифікації та її приклади.
3. Види кодів: числові, мнемонічні, ієрархічні, коди зіставлення.
4. Система кодування *МКХ*.
5. Що лежить в основі системи кодування *DSM*?
6. Що являє собою система кодування *SNOMED*?
7. Система кодування *ICPC*.
8. Сформулюйте визначення формалізації та алгоритмізації.
9. Що таке алгоритм? Які його основні властивості?
10. Які бувають способи подання алгоритмів?
11. Типи алгоритмів: лінійні, розгалужені, циклічні.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Міжнародна система класифікації *ICPC* використовує двохосову систему кодування. Це:
 - A. Цифри.
 - B. Літери.
 - C. Літера + дві цифри.
 - D. Функціональні символи.
 - E. Предикати.
2. Основою Міжнародної класифікації хвороб (*МКХ-10*) є:
 - A. Тризначний код.
 - B. Двійковий код.
 - C. Шестеричний код.
 - D. Восьмеричний код.
 - E. Літерний код.
3. Процес віднесення індивідуального об'єкта до певного класу у випадку багатоосової класифікації називається:
 - A. Класифікаційним кодуванням.
 - B. Ранжируванням.
 - C. Постановкою завдання.
 - D. Побудовою варіаційного ряду.
 - E. Побудовою діаграми.
4. Одним з видів кодів є:
 - A. Аналітичний.
 - B. Мнемонічний.
 - C. Алгебраїчний.
 - D. Стохастичний.
 - E. Креативний.
5. Процес подання інформації про об'єкт для побудови алгоритму називається:
 - A. Ранжируванням.
 - B. Класифікацією.
 - C. Формалізацією.
 - D. Апроксимацією.
 - E. Інтерполяцією.
6. Одним з етапів побудови алгоритмів є:
 - A. Альтернативний вибір.
 - B. Вибір методу рішення й опис послідовності дій.
 - C. Вибір з генеральної сукупності випадковим чином.
 - D. Вибір статистичної гіпотези.
 - E. Вибір мови програмування.
7. Алгоритм, у якому передбачається перевірка певного твердження, називають:
 - A. Розгалуженим.
 - B. Циклічним.
 - C. Лінійним.
 - D. Кубічним.
 - E. Кумулятивним.

ТЕМА 3

МЕДИЧНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Як було показано, поява персонального комп'ютера в кінці 80-х років стало бурхливим поштовхом для інформатизації багатьох галузей науки і техніки, у тому числі і медицини. Не можна сказати, що до появи настільних обчислювальних систем в медицині обчислювальна техніка взагалі не використовувалася. Наприклад, один з найбільш потужних методів діагностики – рентгенівська томографія – принципово заснована на застосуванні складних математичних методів обробки приладової інформації і навіть отримала іншу назву – комп'ютерна томографія. Проте в даному випадку лікаря стосується тільки результат – набір діагностичних зображень, отриманих на приладі. Безпосередня робота з комп'ютером покладається на інженерний персонал томографа. Компактність, відносна доступність і простота використання персонального комп'ютера значно наблизили сучасну обчислювальну техніку до всіх, хто має відношення до роботи з інформацією, у тому числі і до непрофесіоналів у галузі використання математичних методів обробки даних.

Медицина, особливо діагностика, тісно пов'язана з накопиченням і обробкою інформації. Відповідно від якості методів роботи з інформацією залежить надійність діагностики і надалі ефективність лікування. У плані роботи з інформацією діагностика спирається на *отримання* даних про поточний стан пацієнта та їх *інтерпретацію*. Отримання даних ґрунтується на наявних на даний момент методах дослідження і в контексті даної лекції не становить особливого інтересу. Що стосується інтерпретації отриманих даних, то це питання не настільки просте, як може здатися на перший погляд. Традиційно лікар при аналізі отриманих даних виходить з наявності певних ознак захворювань, які виявляються даним обстеженням. Найбільш простим є випадок, коли захворюванню відповідає однозначний набір ознак. Проте організм – це дуже складна система, такий випадок трапляється рідко. Частіше спостерігаються ознаки, які з деякою вірогідністю відповідають яким-небудь захворюванням. Добре, якщо є можливість провести додаткове дослідження для отримання збільшення кількості ознак. Однак такої можливості може і не бути. Саме у зв'язку з неповнотою даних та частою відсутністю чіткого порога в інтерпретації параметра нерідко виникають проблеми у постановці коректного діагнозу, а на перше місце в якості роботи лікаря-діагноста виходить досвід попередньої роботи.

Таким чином, для підвищення якості діагностики є потреба у накопиченні і статистичному аналізі даних, отриманих при спостереженні багатьох пацієнтів, детальному відстеженні стану пацієнта протягом тривалого періоду, використанні комп'ютерних експертних систем – програм, які допомагають поставити діагноз на основі порівняння поточних даних з раніше накопиченими. Ключем до вирішення викладених вище проблем є спеціалізовані медичні інформаційні системи, про які йтиметься нижче.

Спеціалізовані медичні інформаційні системи

Як вже зазначалося, інформаційні процеси присутні у всіх галузях медицини і охорони здоров'я. Найважливішою складовою інформаційних процесів є інформаційні потоки, які складаються з окремих повідомлень, втілених в сигналах і документах, і рухаються в просторі і часі від джерела інформації до одержувача.

Для роботи з інформаційними потоками призначені інформаційні системи (ІС).

Інформаційна система – організаційно упорядкована сукупність документів (масивів документів) та інформаційних технологій, у тому числі з використанням засобів обчислювальної техніки і зв'язку, що реалізують інформаційні процеси.

Структурна схема програмного модуля є стандартною, логічно пов'язаною взаємодією біологічної та технічної підсистем (рис. 3.1).

Біологічна підсистема включає лікаря і об'єкт (пацієнт), які взаємодіють між собою як при опитуванні або постановці діагнозу, так і при призначенні індивідуального лікування та контролю стану. *Технічна підсистема* включає в себе апаратний блок, блоки введення і виведення інформації, блоки обробки і аналізу інформації, БД.

Введення інформації про стан об'єкта здійснюється за допомогою пристрою введення (клавіатура). Модуль обробки інформації призначений для фільтрації та кодування вхідної інформації, а також для шифрування паспортних даних людини.

БД містить повну інформацію про стан пацієнта, результати його клініко-лабораторного, інструментального та інших видів обстежень, результати обробки цієї інформації тощо. Інформація в БД служить для зберігання необхідної діагностичної інформації, її впорядкування і пошуку.

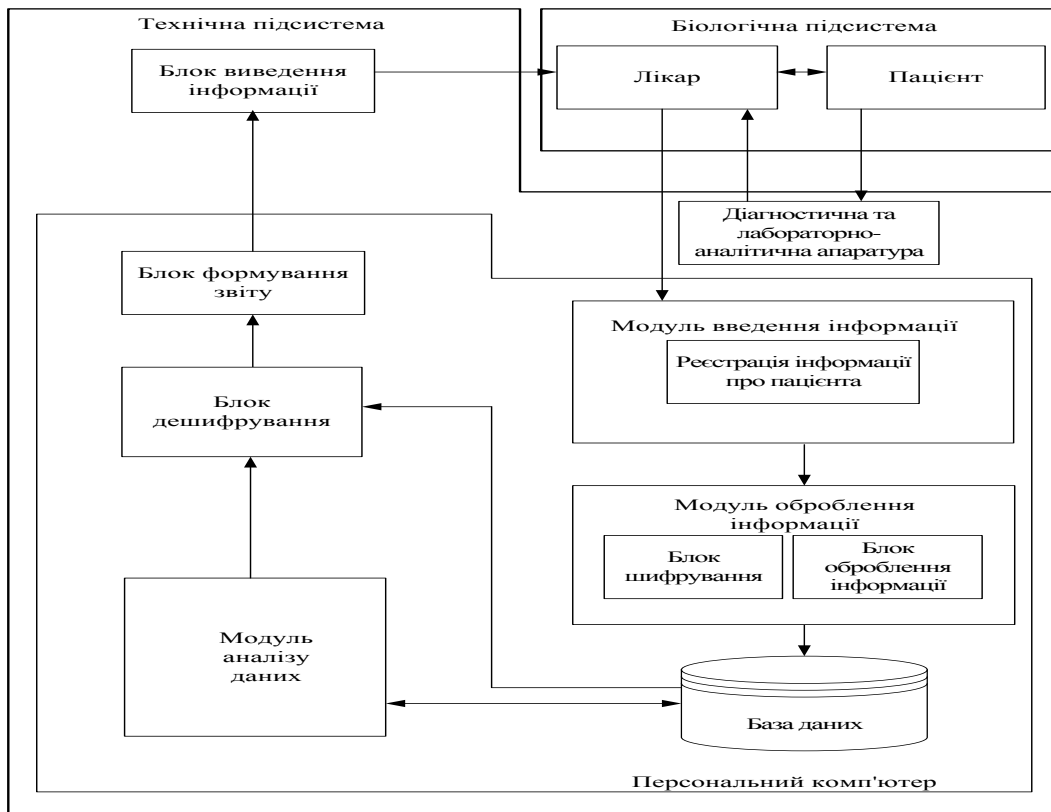


Рис. 3.1. Структурна схема інформаційної системи

Модуль аналізу інформації призначений для аналізу вхідних даних, розрахунку необхідних діагностичних параметрів і знаходження оптимального рішення. Блок дешифрування призначений для відновлення даних об'єкта. В результаті дешифрування паспортні дані відновлюються шляхом зворотного перетворення за допомогою того ж алгоритму, яким проводилось шифрування. Блок формування звіту призначений для формування висновку про стан пацієнта. Блок виведення інформації включає пристрій відображення і виведення інформації (принтер, монітор).

Існують різні підходи до класифікації медичних інформаційних систем (МІС). Ми зупинимось на одному з них, заснованому на ієрархічному принципі, який відповідає багаторівневій структурі охорони здоров'я (рис. 3.2).

Класифікація МІС в залежності від рівнів керування і організації



Рис. 6.2. Класифікація МІС

Обговоримо окремо кожен з представлених рівнів згідно з ієрархією, починаючи з базового.

МІС базового рівня

Метою МІС базового рівня є комп'ютерна підтримка роботи лікаря – клініциста, гігієніста, лаборанта та ін. До них відносяться:

1. *Медичні інформаційно-довідкові системи*, які призначені для пошуку і видачі медичної інформації за запитом користувача. Необхідність накопичення великих обсягів професійно цінної інформації і оперування з ними – одна з проблем, з якою доводиться стикатися лікарям. Інформаційно-довідкові системи (ІДС) полегшують рішення цієї проблеми.

Інформаційні масиви таких систем (бази і банки даних) містять медичну довідкову інформацію різного характеру. Системи цього класу не здійснюють обробку інформації, але забезпечують швидкий доступ до необхідних відомостей. Це і наукова інформація з різних медичних дисциплін, і довідкова статистична та технологічна інформація широкого профілю, і обліково-документальна інформація.

На сьогодні є велика кількість комерційних ІДС, поширюваних на компакт-дисках. Прикладами таких систем є довідники лікарських препаратів, електронні атласи, класифікатори тощо.

2. *Медичні консультативно-діагностичні системи*. Історично консультативно-діагностичні системи (КДС) були одними з перших ІС. Перша закордонна КДС з'явилася в 1956 р. КДС призначені для діагностики патологічних станів (включаючи прогноз і вироблення рекомендацій щодо способів лікування) при захворюваннях різного профілю і для різних категорій хворих. Вхідною інформацією для таких систем служать дані про симптоми захворювання, які вводять в комп'ютер у діалоговому режимі.

Актуальність практичного використання КДС в медицині визначається наступними обставинами. Останніми роками в усьому світі відзначається зростання протиріччя між суспільною потребою в доброму здоров'ї і виразно проявленому процесі та деформацією біологічної природи людини у міру поглиблення науково-технічного процесу, що супроводжується високими темпами соціальних, економічних, техногенних, кліматичних та інших змін, що іноді мають катастрофічний характер. Все це призводить до зниження функціональних резервів органів, систем, організму в цілому, народженню ослабленого потомства, зміни характеру і збільшення різноманітності проявів патології людини. Характерне зростання хронічних неінфекційних захворювань, поява нових (СНІД, лихоманка Ебола та ін.), а також повернення «старих» захворювань (туберкульоз, малярія, дифтерія тощо). Виникає ситуація, коли кожен «вузкий» фахівець одному й тому ж хворому обгрунтовано ставить свій діагноз. Зрозуміло, що ефективний шлях радикального поліпшення якості діагностики (і подальшого лікування) полягає в одночасному, системному аналізі всіх симптомів хвороби, що і реалізує КДС.

Крім того, останнім часом у медичній науці все більш виражено формується переконання про необхідність враховувати існування перехідного стану між станами здоров'я людини і хвороби, коли адаптаційні можливості організму вже знижені, але маніфестних проявів хвороби ще немає. У цій ситуації використання КДС при масових обстеженнях практично здорового населення принесло б величезну користь завдяки ранній діагностиці патологічних процесів.

У самому загальному випадку КДС може містити:

- 1) базу даних (БД);
- 2) базу знань (БЗ);
- 3) механізм логічного висновку (МЛВ);
- 4) інтерфейс.

База даних призначена для зберігання сукупності фактів, конкретних даних про об'єкти у сфері діяльності КДС. База знань містить знання, що відносяться до конкретної прикладної галузі, у тому числі окремі факти, правила, а також, можливо, евристики, які стосуються рішення завдань у цій прикладній галузі. МЛВ з використанням правил, методів БЗ перетворює конкретну інформацію про об'єкт до виду, відповідному призначенню КДС (діагноз, план дій та ін.). Інтерфейс з користувачем забезпечує безперервний обмін інформацією між користувачем і системою. Він також дає користувачеві можливість спостерігати за процесом рішення задач, що протікають в МЛВ. Прийнято розглядати МЛВ і інтерфейс як один великий модуль, який зазвичай має назву – оболонка КДС.

За способом реалізації МЛВ розрізняють експертні КДС й імовірнісні КДС. В основі МЛВ можуть лежати методи теорії ймовірностей або методи штучного інтелекту, що є теоретичним базисом так званих експертних систем.

В *експертних системах* реалізується логіка прийняття рішення досвідченим лікарем-клініцистом. Експертні системи (ЕС), строго кажучи, належать до класу систем «штучного інтелекту», що включають базу знань з набором евристичних алгоритмів.

Такі системи являють собою, як правило, машинні програми, що вирішують завдання приблизно так само, як їх вирішує експерт в реальній обстановці. ЕС дозволяють накопичувати, систематизувати і зберігати знання і професійний досвід тих експертів, які вирішують конкретні завдання найкращим чином, в першу чергу в тих галузях, де завдання та їх вирішення слабо або зовсім не формалізовані (не структуровані), а саме: у медицині, біології, обчислювальній техніці, інформатиці, геології, ядерній енергетиці, економіці, соціальних науках та ін.

Практичне застосування такої системи дає можливість:

1) запропонувати лікарю кваліфікованого консультанта, який швидко і на високому професійному рівні переробить всю інформацію, що надходить про об'єкт, і видасть розподіл ймовірностей можливих станів;

2) оперативно приймати рішення про невідкладні заходи у критичних ситуаціях;

3) скоротити загальну кількість процедур і час попереднього аналізу стану об'єкта;

4) забезпечити тренування та навчання персоналу методиці оцінки результатів аналізу стану об'єкта та прийняття відповідних рішень.

ЕС «дружелюбно» налаштовані до користувача, що пояснюється їх здібностями робити логічні висновки, пояснюючи при цьому користувачеві, на якій підставі видаються такі, а не інші висновки та рекомендації, що різко підвищує довіру користувача до свого «електронного порадника»; просити користувача виконати конкретні процедури, які необхідні для отримання відповіді; швидко, повно і точно відповідати на питання користувача, причому у міру накопичення нових знань і досвіду відповідь прискорюється і стає більш точною і повною; представляти користувачеві узагальнені результати в найбільш зручній і зрозумілій формі.

Висока «кваліфікація» *ЕС* і забезпечувана ними повна доступність будь-якого користувача до банку знань, накопичених фахівцями найвищого рівня, дозволяють деякою мірою знизити вимоги до рівня професійної грамотності користувача, виключити або мінімізувати можливі помилки і неправильні висновки, підвищити продуктивність праці та якість прийнятих рішень.

Наведемо кілька прикладів успішного застосування медичних *ЕС*.

Експертна система *AI/Rheum* дозволяє діагностувати різні ревматологічні захворювання на основі системи правил, що відображають набори типових випадків і класичні приклади прояву кожного захворювання. Система використовує симптоми пацієнта і результати лабораторних аналізів для диференційної діагностики таких хвороб, як ревматоїдний артрит, прогресивний системний склероз і хвороба Шегрена.

Експертна система *MYCIN* допомагає лікарям вибирати підходящу антимікробну терапію для хворих на бактеріємію, менінгіт і цистит. Система визначає характер інфекції (наприклад, тип інфікуючого мікроорганізму), застосовуючи знання, що зв'язують цей характер із симптомами і результатами лабораторних досліджень. Система рекомендує медикаментозну терапію.

Інший підхід до побудови *МЛВ* полягає в застосуванні теорії ймовірностей і, зокрема, теореми Байєса. Це так звані ймовірнісні *КДС*. Для побудови бази знань такої системи необхідно мати набір апріорних ймовірностей можливих станів об'єкта і для кожної пари параметр-стан, апріорну ймовірність того, що параметр прийме відповідне значення за умови знаходження об'єкта в цьому стані. Застосування теореми Байєса дозволяє за результатами аналізу контрольованих параметрів об'єкта отримати апостеріорний розподіл ймовірностей станів.

Підхід Байєса знімає проблему розмірності задачі. Прикладом такої *КДС* може служити українська розробка, призначена для діагностики патогенетичних варіантів бронхіальної астми.

Останніми роками все більший інтерес викликає вивчення і використання для вирішення складних комбінаторних завдань систем штучного інтелекту принципово нового типу – штучних нейронних мереж, технологія яких буде розглянута далі.

3. Медичні апаратно-програмні комплекси МАПК призначені для інформаційної підтримки та/або автоматизації діагностичного та лікувального процесу, здійснюваних при безпосередньому контакті з організмом хворого або об'єктом дослідження.

Сьогодні одним із напрямків інформатизації медицини є комп'ютеризація медичної апаратури. Використання комп'ютера в поєднанні з вимірювальною і керуючою технікою в медичній практиці дозволило створити нові ефективні засоби для забезпечення автоматизованого збору інформації про стан хворого, її обробки в реальному масштабі часу і управління його станом.

Типовими представниками *МАПК* є медичні системи моніторингу за станом хворих, наприклад, при проведенні складних операцій або в умовах високого ризику розвитку важких ускладнень; системи комп'ютерного аналізу даних томографії, ультразвукової діагностики, *ЕЕГ*, *ЕКГ*, радіографії; системи автоматизованого аналізу даних мікробіологічних та вірусологічних досліджень, аналізу клітин і тканин людини.

За призначенням *МАПК* можуть бути розділені на ряд класів:

- системи для проведення функціональних і морфологічних досліджень;
- моніторні системи;
- системи управління лікувальним процесом;
- системи лабораторної діагностики;
- системи для медико-біологічних досліджень.

До систем для проведення функціональних і морфологічних досліджень відносяться системи для дослідження системи кровообігу, органів дихання, головного мозку і нервової системи, органів чуття (зір, слух), рентгенологічні дослідження, УЗ-діагностика та ін.

Моніторні системи дозволяють відслідковувати стан хворого в палатах інтенсивної терапії та операційних. До систем керування процесами лікування і реабілітації відносяться автоматизовані системи інтенсивної терапії, біологічного зворотного зв'язку, протези і штучні органи, що створюються на базі мікропроцесорної техніки.

До систем керування процесами лікування відносяться також системи біологічного зворотного зв'язку – системи, які призначені для подання пацієнту поточної інформації про функціонування його внутрішніх органів і систем, що дозволяє шляхом свідомого вольового впливу пацієнта досягати терапевтичного ефекту при певному виді патології.

В апаратурі знімання медично-біологічної інформації здійснюється перетворення фізичних характеристик стану пацієнта у форму аналогових електричних сигналів. Одним із стандартних пристроїв перетворення безперервного електричного сигналу в серію окремих цифрових сигналів для введення інформації в комп'ютер або мікропроцесорний пристрій служить аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Під цифровою формою тут розуміється уявлення сигналу у двійковій системі числення, де наявність електричного сигналу відповідає цифрі 1, а відсутність – 0. Дані, отримані через інтерфейс АЦП, обробляються комп'ютером і потім пересилаються у формі двійкового коду в інтерфейс цифро-аналогового перетворювача (ЦАП).

Програмне забезпечення (ПЗ) МАПК не менш важливо, ніж апаратне, тобто технічне. Найбільш досконали пристрої оснащені так званим «інтегрованим» ПЗ, завдяки якому лікар отримує цілісну схему, що охоплює весь процес дослідження, який включає етап підготовки, проведення дослідження та обробки даних. У такому ПЗ виділяють шість основних функціональних розділів (модулів):

- 1) підготовка обстеження;
- 2) проведення обстеження;
- 3) перегляд і редагування записів;
- 4) обчислювальний аналіз;
- 5) оформлення висновку;
- 6) робота з архівом.

4. Автоматизоване робоче місце (АРМ) лікаря – це комп'ютерна інформаційна система, яка призначена для автоматизації всього технологічного процесу лікаря відповідної спеціальності та забезпечує інформаційну підтримку при прийнятті діагностичних і тактичних (лікувальних, організаційних та ін.) лікарських рішень. Всі розглянуті вище інформаційні системи клінічного рівня можуть і повинні входити до структури АРМ, забезпечуючи автоматизацію всього технологічного процесу медика: лікувально-профілактичну та звітно-статистичну діяльність, ведення документації, планування роботи, отримання довідкової інформації різного роду.

МІС рівня лікувально-профілактичних закладів (ЛПЗ)

Інформаційні системи цього рівня представлені такими групами:

1. ІС консультативних центрів. Призначені для забезпечення функціонування відповідних підрозділів та інформаційної підтримки лікарів у разі консультування, діагностики та прийняття рішень при невідкладних станах.

2. Банки інформації медичних установ і служб. Містять зведені дані про якісний і кількісний стан працівників установи, прикріпленого населення, основні статистичні відомості, характеристики районів обслуговування та інші необхідні відомості.

3. Персоніфіковані реєстри (бази і банки даних). Це різновид інформаційно-довідкових систем, що містять інформацію на прикріпленій або спостережуваний контингент на основі формалізованої історії хвороби або амбулаторної карти.

4. Скринінгові системи. Призначені для проведення долікарського профілактичного огляду населення, а також для лікарського скринінгу (формування груп ризику і виявлення хворих, які потребують допомоги фахівця). Скринінг здійснюється на основі розроблених анкетних карт або прямого діалогу пацієнта з комп'ютером. При цьому не потрібно високої достовірності первинної діагностики, оскільки поріг відбору може бути заданий з достатнім запасом. Для скринінгу можуть використовуватися досить прості алгоритми типу дерева ознак або розрахунку деякої вагової метрики вхідних параметрів.

5. ІС для НДІ і ЗВО вирішують три основні завдання: інформатизацію технологічного процесу навчання, науково-дослідної роботи та управлінської діяльності НДІ і ЗВО. Реалізація завдань забезпечується відповідно інформаційними системами медично-біологічних досліджень, комп'ютерними системами навчання та інформаційними системами НДІ і ЗВО.

Розглянемо окремо **інформаційні системи ЛПЗ**, які теж відносяться до інформаційних систем рівня закладів.

Інформаційні системи ЛПЗ – це інформаційні системи, що засновані на об'єднанні всіх інформаційних потоків в єдину систему і забезпечують автоматизацію різних видів діяльності установи. Відповідно до видів ЛПЗ зазвичай розрізняють програмні комплекси інформаційних систем: «Стаціонар», «Поліклініка», «Швидка допомога».

Госпітальні інформаційні системи (ГІС) також є різновидом ІС ЛПЗ і призначені для інформатизації діяльності медичного стаціонару.

Як і всі ІС ЛПЗ, у своїй роботі ці системи відображають частково або повністю сценарій інформаційних подій, що відбуваються в лікувальному закладі. Залежно від повноти відображення сценарію інформаційних подій у госпітальній інформаційній системі, тип системи змінюється від чисто статистичного до повністю фактографічного, коли система працює в режимі реального часу.

Статистичні системи припускають збір первинної інформації в обсязі, необхідному для отримання певних звітів. Вони, як правило, працюють «заднім числом» – в комп'ютер вводиться інформація, записана в історію хвороби чи інші паперові документи. Часто для реалізації такої системи досить декількох комп'ютерів, декількох операторів, однієї-двох прикладних програм.

Фактографічні системи реєструють події, що відбуваються в час лікування пацієнта, у міру їх появи. Впровадження таких систем вимагає установки численних комп'ютерів, об'єднання їх у мережу, розробки багатьох прикладних програм, навчання великої кількості користувачів і створення служби підтримки. Фактографічні системи, однак, володіють багатьма важливими перевагами. По-перше, сама побудова системи більш логічна: статистика випливає з фактів, а не збираються факти, необхідні для статистики. По-друге, система дозволяє отримати оперативну інформацію: відомо, що відбувається в клініці в даний момент, а не тільки в цілому за звітний період. І, нарешті, основне – фактографічна система багатфункціональна, вона дозволяє одночасно, на основі однієї і тієї ж інформації, вирішувати кілька важливих завдань.

У всьому спектрі типів госпітальних інформаційних систем можна вказати ту мінімальну повноту відображення сценарію інформаційних подій в лікувальному закладі, яка характеризує «логічну завершеність» інформаційної системи. У цих системах обсяг реєстрованих подій повинен покривати технологічний процес клініки: створення медичних ресурсів – формування відносин з клієнтами – лікування пацієнтів – отримання оплати.

До ресурсів медичного закладу відносяться списки відділень, служб, лікарів, розклад їх роботи, опис ліжко-фонду і т. д.

Відносини з клієнтами полягають у виконанні відповідних зобов'язань, які відображені в умовах договорів з вищими організаціями, зі страховими компаніями, підприємствами, пацієнтами, в прейскуранті установи. Реєстрація пацієнтів зазвичай проводиться за правилами, що описані в договорах з платниками.

Реєстрація ходу лікування пацієнтів. Зазвичай лікування пацієнта представляють у вигляді послідовності подій. Для кожної події роблять досить докладний опис, який може містити як формалізовані, так і вільно увідні дані. На даному етапі здійснюється реєстрація подій, що відбуваються з пацієнтами згідно з перебігом їх лікування.

Нарешті, отримання оплати полягає у виставленні рахунків та реєстрації оплати лікування.

Грунтуючись на раніше отриманій інформації, система такого типу може автоматично виставити в оплату проведене лікування. У них можна встановлювати «зворотні зв'язки», які допомагають оперативно керувати роботою клініки. Наприклад, несплата рахунків за лікування з боку конкретної страхової компанії може перевести її в розряд «не обслуговувати» і зробіть неможливим реєстрацію нових пацієнтів від імені цієї компанії.

Реалізувавши систему такого типу, установа може вирішувати з її допомогою широкий спектр управлінських завдань: від підвищення якості лікування до скорочення втрат через недовантаження потужностей або перевитрати ресурсів.

Отриманий в таких ГІС «кістяк» інформації про лікування пацієнта можна потім нарощувати, наповнюючи все більш і більш докладними медичними даними. Надалі саме в таких системах буде плідною інтеграція лабораторних, діагностичних систем, формування повномасштабних електронних історій хвороби.

Повний комплекс ГІС фактографічного типу може включати в себе наступні підсистеми.

Автоматизовані робочі місця Головного лікаря та його заступників. Вони мають права повного доступу для перегляду, що дозволяють контролювати стан справ практично у всіх підпорядкованих їм службах установи, але зазвичай не мають прав для коригування інформації в цих службах.

Підсистема «Стаціонар». До неї входять АРМи завідувачів відділеннями, лікарів-ординаторів, старших медсестер, палатних сестер. У підсистему також входять відділення, що не мають палат (наприклад, приймальне відділення, відділення екстрокорпоральних методів обробки крові тощо).

У цій підсистемі проводиться реєстрація хворого з усіма необхідними вихідними даними (формується паспортна частина історії хвороби з присвоєнням унікального електронного номера). Потім заповнюються електронні документи історії хвороби, здійснюються введення стану і переміщення хворих, оформляються заявки на дослідження і аналізи, заявки на ліки та витратні матеріали (в аптеку), проводиться прийом і введення в документи історії хвороби результатів досліджень і аналізів. Це дозволяє враховувати специфіку діяльності не тільки відділення, але і конкретного фахівця всередині відділення. Використання заготовок (шаблонів) дозволяє звести до мінімуму введення даних і тексту з клавіатури.

Підсистема «Поліклініка». У цю підсистему входять реєстратура та АРМі лікарів-фахівців. Тут ведеться документація амбулаторних хворих.

Параклінічні служби відображені в підсистемах «Лабораторні дослідження» та «Облік лікарських засобів» (аптека). Тут же можуть вводитися висновки лікарів функціональної та променевої діагностики, відділення (або кабінету) переливання крові.

У підсистемі «Лабораторні дослідження» вводяться результати лабораторних аналізів за всіма заданими видами досліджень. Тут же можуть бути присутніми інтерфейси для підключення деяких приладів (наприклад, аналізаторів типу «СОВА5») для автоматичного введення результатів досліджень в електронний документ історії хвороби.

Підсистема «Облік лікарських засобів» вирішує великий комплекс завдань обліку та контролю витрат лікарських засобів. Тут вводяться рахунки на лікарські засоби, що надходять, такуються вимоги на ліки та інші витратні матеріали, що надійшли з відділень, оформляються звіти і закриття рахунків, а також діють кілька довідників (про наявність лікарських засобів, власне ліки і т. д.).

Підсистеми «Довідкове бюро» і «Архів» для вирішення своїх завдань отримують необхідну інформацію в підсистемі «Стационар».

Підсистема «Лікувальне харчування» дозволяє повністю виконувати оформлення заявок відділень на дієтичні столи, формувати меню, виконувати всі необхідні розрахунки щодо витрат продуктів (з урахуванням новоприбулих, вибулих або тимчасово відсутніх хворих). Тут же формується вся необхідна бухгалтерська і звітна документація, реєструються рахунки і контролюється витрата продуктів.

У підсистемах «Бухгалтерські розрахунки» та «Економічні розрахунки» виконуються всі функції, властиві цим службам. «Бухгалтерські розрахунки» – це комплекс бухгалтерських програм, орієнтованих на застосування в медичних установах. Підсистема «Економічні розрахунки» простіша, але і тут є проблеми, пов'язані з місцевими нормативними актами та розпорядженнями.

Підсистема «Кадровий облік» виконує всі роботи з обліку і переміщенню кадрів, формування штатного розкладу. Тут збирається і обробляється вся необхідна інформація про персонал установи, а також виконуються всі необхідні статистичні вибірки щодо персоналу установи.

У підсистемі «Контроль виконавської діяльності» (організаційний відділ, канцелярія) проводиться реєстрація наказів, вхідних і вихідних документів, листів і скарг, ведеться контроль термінів виконання розпоряджень.

Підсистема «Медстатистика». Тут готується статистична інформація для вищих організацій відповідно до чинних нормативів. Формується інформація про результати діяльності лікувального закладу, сигнальні донесення головному лікарю та його заступникам і ряд інших документів.

У підсистемі «Облік медобладнання» відображена діяльність експлуатаційно-технічних підрозділів, ведеться облік медичного та іншого обладнання та контроль його експлуатації.

Управління та взаємозв'язок між усіма іншими підсистемами здійснюється службовою підсистемою, що являє собою складний комплекс програм. За допомогою цієї підсистеми і ряду інших допоміжних програмних засобів адміністратор ГІС може здійснювати контроль за роботою як самої ГІС, так і локальної обчислювальної мережі в цілому. У разі нештатних ситуацій управління мережею перехоплює на себе адміністратор системи.

МІС територіального рівня

МІС територіального рівня забезпечують управління спеціалізованими і профільними медичними службами, поліклінікою, стаціонарною й швидкою допомогою населенню на рівні територій (міста, області і т. д.).

На цьому рівні МІС представлені такими групами:

1. *Статистичні МІС* для роботи зі зведеною по території інформацією.
2. *МІС спеціалізованих служб* і напрямів: швидкої допомоги і невідкладної служби, лікарського забезпечення, реєстри (фтизіатрія, психіатрія, інфекційні хвороби та ін.).
3. *Комп'ютерні телекомунікаційні мережі*, що створюють єдиний інформаційний простір у сфері охорони здоров'я.

МІС адміністративного рівня

Адміністративно-управлінські МІС для керівників територіальних медичних служб – це найвищий рівень, на якому рішення приймаються на законодавчому рівні.

Більш повно відобразити специфіку об'єктів, що класифікуються, запропонував у 2005 р. Гаспарян С.А., застосувавши комплексний підхід, що враховує як структурно-організаційні рівні охорони здоров'я, так і функціональне призначення інформаційних систем. Відповідно до цього виділяють шість класів медичних інформаційних систем:

- технологічні медичні інформаційні системи (ТМІС);
- ресурсні медичні інформаційні системи (РМІС);
- статистико-аналітичні медичні інформаційні системи (САМІС);
- науково-дослідні медичні інформаційні системи (НДМІС);
- освітні медичні інформаційні системи (ОМІС);
- довідково-інформаційні медичні інформаційні системи (ДМІС).

Дані класи виділені відповідно до таких підстав: об'єктів опису; соціальних завдань, що вирішуються; користувачів; ступенем і спрямованістю агрегації інформації на рівні вихідних документів. Отже, сутність користування даними системами зводиться до інформаційного забезпечення таких відносин:

- лікар – хворий (ТМІС);
- економісти та бухгалтери закладів охорони здоров'я – керівники цих закладів та аналогічні співробітники вищого органу управління охороною здоров'я (РМІС);
- популяції – керуючі системами надання медичної допомоги (САМІС);
- біологічні об'єкти та наукові документи – дослідники, наукові керівники (НДМІС);
- викладачі – учні (ОМІС);
- довідково-інформаційні бази даних – населення та медичні працівники (ДМІС).

У свою чергу кожен клас МІС поділяється на види. Загальна класифікація наведена на рис. 3.3.

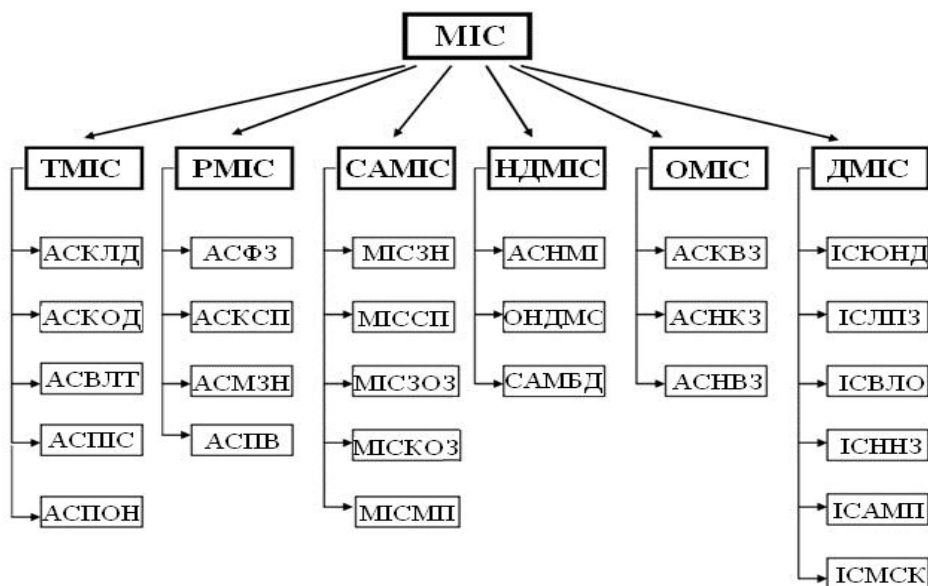


Рис. 3.3. Класи та види медичних інформаційних систем

Залежно від цілей обробки медико-біологічної інформації **ТМІС**, які призначені для діагностики стану людини, поділяються на такі:

- АСКЛД – автоматизовані системи клініко-лабораторних досліджень, включаючи програмно-апаратні комплекси, призначені для функціональної, променевої та лабораторної діагностики;
- АСКОД – автоматизовані системи консультативної обчислювальної діагностики, включаючи системи, засновані на методах математичної статистики, експертні системи та телемедичні консультативні системи;
- АСВЛТ – автоматизовані системи вибору лікувальної тактики, розрахунку доз медикаментів або режиму променевого впливу, фізіотерапевтичного лікування тощо;
- АСПІС – автоматизовані системи постійного інтенсивного спостереження для післяопераційних палат, реанімаційних відділень, опікових центрів тощо;
- АСПОН – автоматизовані системи профілактичних оглядів населення.

Розподіл систем у класі **PMIS** ґрунтується на відмінності об'єктів опису, що характеризуються специфікою використовуваних ресурсів:

- АСФЗ – автоматизовані системи фінансового забезпечення, включаючи планування бюджету, забезпечення поточного накопичувального обліку витрат і формування підсумкової звітності установами охорони здоров'я;

- АСКСП – автоматизовані системи короткострокового та середньострокового планування роботи медичних працівників за профілями їх діяльності;

- АСМЗН – автоматизовані інформаційні системи медикаментозного забезпечення населення, включаючи пільговиків, а так само планування виробництва, закупівлі та розподілу за територіальними аптечними складами, ЛПУ, аптечною мережею;

- АСПВ – автоматизовані системи планування виробництва, закупівель та розподілу виробів медичної промисловості.

Розподіл систем класу **SAMIS** на види ґрунтується на відмінності об'єктів опису, поданих у статистичних звітах ЛПУ та територіальних органів управління охороною здоров'я:

- МІСЗН – медичні інформаційні системи здоров'я населення, в яких об'єктами виступають статеві та професійні групи населення в цілому по країні або регіонах;

- МІССП – медичні інформаційні системи середовища проживання, в яких об'єктами є соціальні інститути, об'єкти виробництва та екологічні ніші (зони);

- МІСЗОЗ – медичні інформаційні системи закладів охорони здоров'я, засновані на описі матеріально-технічної бази установ, їх сукупності за типами та характеристиками їх діяльності;

- МІСКОЗ – медичні інформаційні системи кадрів охорони здоров'я, в яких об'єктами опису є середні медпрацівники, лікарі, керівники, наукові співробітники;

- МІСМП – медичні інформаційні системи медичної промисловості мають бути засновані на описі об'єктів-підприємств та об'єктів-продуктів цих підприємств (ліків, виробів, устаткування).

На тому самому принципі відмінності об'єктів опису проведена декомпозиція систем класу **НДМІС** на види складових систем:

- АСНМІ – автоматизовані системи наукової медичної інформації, заснованої на описі документів – наукових публікацій;

- ОНДМС – організаційні науково-дослідні медичні системи, засновані на описі тематики наукових досліджень та їх результатів за сукупністю установ, наукових напрямів, проблемних комісій;

- САМБД – системи автоматизації медико-біологічних досліджень, які засновані на описі поведінки досліджуваних об'єктів або їх сукупності.

Освітні медичні інформаційні системи (**ОМІС**) поділяються на види відповідно до педагогічних принципів оцінки рівня засвоєння знань учнями:

- АСКВЗ – автоматизовані системи, контролюючі відтворення знань з відповіді на питання, які вибрані з можливих варіантів;

- АСНКЗ – автоматизовані системи, навчальні та контролюючі знання;

- АСНВЗ – автоматизовані системи, які навчають вирішенню завдань, заснованих на знаннях.

Розподіл систем у класі **DMIS** ґрунтується на відмінності об'єктів опису:

- ІСЮНД – інформаційні системи введення юридичних і нормативних документів;

- ІСЛПЗ – інформаційні системи лікувально-профілактичних закладів охорони здоров'я;

- ІСВЛЮ – інформаційні системи виробників ліків, медичного обладнання, виробів медичного призначення;

- ІСННЗ – інформаційні системи навчальних і наукових закладів охорони здоров'я;

- ІСАМП – інформаційні системи аптечної мережі та лікарських препаратів;

- ІСМСК – інформаційні системи медичних стандартів і класифікаторів.

Усі види систем цього класу орієнтовані на довідково-інформаційне забезпечення населення, співробітників ЛПУ з усіх питань, пов'язаних з юридичним, функціонально-структурним, лікарським і матеріально-технічним забезпеченням медичної допомоги.

Принципово важливим моментом і умовою роботи будь-яких інформаційних систем, у тому числі і медичних, є те, що дані в інформаційну систему вводяться одноразово, в місці їх виникнення. Так, паспортні дані хворого вносяться лише в приймальному відділенні стаціонару, і надалі лікар лікувального відділення, формуючи, наприклад, направлення на функціональне дослідження, користується цими даними. У свою чергу, сформований ним напрям ініціалізує запис для занесення результатів цього дослідження, які також будуть внесені фахівцем, що виконав це дослідження. При цьому у разі необхідності даний фахівець зможе скористатися раніше занесеними в інформаційну систему даними.

Технічне забезпечення – комплекс технічних засобів, призначених для роботи інформаційної системи, а також відповідна документація на ці засоби і технологічні процеси.

Комплекс технічних засобів складають:

- комп'ютери будь-яких моделей;
- пристрої збору, накопичення, обробки, передачі та виведення інформації;
- пристрої передачі даних і лінії зв'язку;
- експлуатаційні матеріали та ін.

Програмне забезпечення – сукупність програм для реалізації цілей і завдань ІС, а також нормального функціонування комплексу технічних засобів.

До складу програмного забезпечення входять загальносистемні та спеціальні програмні продукти, а також технічна документація, у тому числі: операційна система, системи програмування, інструментальні засоби програміста, тестові та діагностичні програми, програмні засоби телекомунікації, захисту інформації, функціональне програмне забезпечення (автоматизовані робочі місця, системи управління базами даних та ін.).

Математичне забезпечення – сукупність математичних методів, моделей, алгоритмів обробки та аналізу інформації, що використовуються при вирішенні завдань в ІС. До засобів математичного забезпечення відносяться: методи математичного програмування, математичної статистики та ін.

Математичне забезпечення є складовою частиною програмного забезпечення ІС. Прикладні і забезпечувальні програми формуються, перш за все, на базі математичних методів. У тих випадках, коли для вирішення тієї чи іншої актуальної задачі вдається підібрати математичний метод, використовуються евристичні алгоритми.

Організаційне забезпечення – сукупність методів і засобів, що регламентують взаємодію працівників з технічними засобами і між собою в процесі розробки та експлуатації ІС. Організаційне забезпечення реалізує такі функції, як виявлення завдань, що підлягають автоматизації, підготовку завдань до вирішення на комп'ютері, включаючи технічне завдання на проектування ІС, та ін.

Правове забезпечення – сукупність правових норм, юридичний статус і функціонування ІС, що регламентують порядок одержання, перетворення і використання інформації.

Головною метою правового забезпечення є зміцнення законності.

До складу правового забезпечення входять закони, укази, постанови державних органів влади, накази, інструкції та інші нормативні документи міністерств, відомств, організацій, місцевих органів влади.

Лінгвістичне забезпечення – це сукупність мовних засобів, що використовуються на різних стадіях створення та експлуатації ІС для підвищення ефективності розробки та забезпечення спілкування людини з ЕОМ.

Електронна медична карта

Електронна медична карта – це, безумовно, «серцевина» будь-якої МІС. Вона надає швидкий, зручний і структурований доступ до персональних і медичних даних пацієнта. Карта має фінансову та медичну частини, а також панель швидкого доступу до даних.

У фінансовій частині електронної медичної карти можна призначати послуги, ставити позначки про їх оплату та виконання, переглядати список всіх послуг, що раніше надавалися пацієнтові в установі, а також встановлювати або змінювати параметри фінансового сервісу пацієнта: чи обслуговується він за готівковий розрахунок або за договором, стан договору, тариф обслуговування тощо.

У медичній частині електронної карти знаходиться зібрана за розділами медична інформація про пацієнта. Причому завжди «перед очима» лікаря на панелях швидкого доступу міститься критично важлива для життя пацієнта інформація: відомі алергії, постійний прийом ліків, хронічні хвороби і т. д.

Будь-який лікар, який працює з електронною картою, зможе налаштованими спеціально для нього засобами введення легко і швидко внести медичні дані пацієнта, підготувати і роздрукувати консультативний висновок лікаря або виписаний епікриз, заповнити протокол інструментального або бланк лабораторного дослідження, за потреби повністю роздрукувати всю електронну медичну карту пацієнта у вигляді стандартної амбулаторної картки.

Впроваджуючи подібні інформаційні системи для автоматизації, можна істотно спростити облік різних даних, які так необхідні при веденні карти пацієнта.

Такий варіант медичної карти є інформаційною системою, яка спирається на технологію реляційних баз даних. Нагадаємо, що реляційною базою даних є деяка таблиця (або кілька пов'язаних таблиць), в якій зберігається довільна кількість записів – чітко структурованих рядків даних. Такий спосіб зберігання інформації дозволяє зручно, в автоматичному режимі, відбирати дані за деякою ознакою або набором ознак, впорядковувати їх відображення по різних стовпцях таблиці, наприклад, за датою, прізвищем, діагнозом (рис. 3.4).

Електронна форма медичної карти полегшує вирішення багатьох завдань:



Рис. 3.4. Робота з електронною медичною картою

- документування (накопичення, надійне зберігання, можливість зручного перегляду) довільної медичної інформації про пацієнта з прив'язкою до календарної дати;
- пошук (фільтрацію за набором ознак) необхідної інформації;
- відстеження тимчасової залежності окремих діагностичних параметрів;
- дослідження ефективності роботи – відстеження кореляції окремих залежностей для пацієнта, формування інтегральних статистичних залежностей рівня клінічного закладу та ін.

Природно, що така інформаційна система передбачає наявність зручних засобів введення і відображення інформації. Для введення текстової і цифрової інформації надаються форми (бланки), які відображаються на екрані комп'ютера. При можливості формалізації даних (формування кінцевого або доповняльного списку значень увідного параметра) вибір значення робиться з наданого списку. У систему можуть додаватися всілякі електронні довідники (класифікатор діагнозів, лікарських засобів, адресна книга і т. д.). Передбачаються засоби імпорту даних апаратних обстежень. Більшість сучасних медичних приладів (томографи, флюорографи, ультразвукові сканери, кардіографи та ін.) формують результат безпосередньо в електронному вигляді. Є навіть міжнародні стандарти, наприклад, *DICOM*, для приладової діагностичної інформації. Для захисту даних від випадкової втрати в результаті аварії устаткування або навмисного злому сховища даних такі інформаційні системи розміщуються на добре захищених серверах, які мають засоби резервного копіювання даних і час опису стану.

На думку співробітників американського інституту медичних записів (*Medical Records Institute, USA*), фактично можна виділити 5 рівнів комп'ютеризації історії хвороби.

Першим рівнем є *автоматизовані медичні записи*. Цей рівень характеризується тим, що тільки близько 50 % інформації про пацієнта вноситься в комп'ютерну систему і в різному вигляді видається її користувачам у вигляді звітів. Іншими словами, така комп'ютерна система є певним автоматизованим оточенням навколо «паперової» технології ведення пацієнта. Такі автоматизовані системи зазвичай охоплюють реєстрацію пацієнта, виписки, внутрішньолікарняні переклади, введення діагностичних відомостей, призначення, проведення операцій, фінансові питання, йдуть паралельно «паперообігу» і служать, насамперед, для різного виду звітності.

Другим рівнем є система *комп'ютеризованого медичного запису* (*Computerized Medical Record System*). На цьому рівні ті медичні документи, які раніше не вносилися в електронну пам'ять (перш за все мова йде про інформацію з діагностичних приладів, одержуваної у вигляді різного роду роздруківок, сканограм, топограм і т. ін.), індексуються, скануються і запам'ятовуються в системах електронного зберігання зображень (як правило, на магнітооптичних накопичувачах). Успішне впровадження таких технологій почалося практично тільки з 1993 р.

Третім рівнем розвитку є впровадження *електронних медичних записів* (*Electronic Medical Records*). У цьому випадку в медичному закладі має бути розвинена відповідна інфраструктура для введення, обробки і зберігання інформації зі своїх робочих місць. Користувачі повинні бути ідентифіковані системою, їм даються права доступу, що відповідають їх статусу. Структура електронних медичних записів визначається можливостями комп'ютерної обробки. На даному рівні розвитку електронний медичний запис може вже відігравати активну роль у процесі прийняття рішень та інтеграції з експертними системами, наприклад, при постановці діагнозу, виборі лікарських засобів з урахуванням теперішнього соматичного і алергічного статусу пацієнта та ін.

На **четвертому** рівні, який автори назвали *системами електронних медичних записів* (*Electronic Patient Record Systems* або ж, за іншими джерелами, *Computer-based Patient Record Systems*), записи про пацієнта мають набагато більше джерел інформації. У них міститься вся відповідна медична інформація про конкретного пацієнта, джерелами якої можуть бути як одна, так і кілька медичних установ. Для такого рівня розвитку необхідна загальнодержавна або інтернаціональна система ідентифікації пацієнтів, єдина система термінології, структури інформації, кодування та ін.

П'ятим рівнем розвитку називають електронний запис про здоров'я (*Electronic Health Record*). Він відрізняється від системи електронних записів про пацієнта існуванням практично необмежених джерел інформації про здоров'я пацієнта. З'являються відомості з галузей нетрадиційної медицини, поведінкової діяльності (куріння, заняття спортом, користування дістами і т. д.).

Питання, винесені на семінар

1. Що таке інформаційна система?
2. Класифікація МІС.
3. Для чого призначені медичні інформаційно-довідкові системи?
4. Консультативно-діагностичні системи та їх види.
5. Що таке медичні апаратно-програмні комплекси? Їх класифікація.
6. Автоматизоване місце лікаря.
7. Класифікація МІС рівня лікувально-профілактичних установ.
8. Електронна медична карта.
9. Основні рівні комп'ютеризації історії хвороби.
10. Класифікація МІС територіального рівня.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Організаційно впорядкована сукупність документів (масивів документів) та інформаційних технологій, у тому числі з використанням засобів обчислювальної техніки й зв'язку, що реалізують інформаційні процеси, називається:
 - A. Інформаційною системою.
 - B. Базою даних.
 - C. Операційною системою.
 - D. Програмним забезпеченням.
 - E. Обчислювальною системою.
2. Системи, що дозволяють відслідковувати стан хворого в палатах інтенсивної терапії й операційних, належать до:
 - A. Систем лабораторної діагностики.
 - B. Моніторних систем.
 - C. Інформаційно-довідкових систем.
 - D. Систем для проведення функціональних і морфологічних досліджень.
 - E. Скринінгових систем.
3. Різновид інформаційно-довідкових систем, які містять інформацію на прикріпленій контингент на основі формалізованої історії хвороби або амбулаторної карти, називається:
 - A. АРМами лікаря.
 - B. Скринінговими системами.
 - C. Медичними апаратно-програмними комплексами.
 - D. Персоніфікованими реєстрами.
 - E. Статистичними системами.
4. Відповідно до ієрархічного принципу медичні інформаційні системи (МІС) розподіляються на:
 - A. Рівні: базовий, установ і територіальний.
 - B. Першу, другу й третю категорії.
 - C. Прості, складні й змішані інформаційні системи.
 - D. Детерміновані, стохастичні й змішані групи.
 - E. Лінійні, розгалужені й циклічні види.
5. Загальна структура медичної приладо-комп'ютерної системи складається з:
 - A. Пристрою знімання інформації, приймача, пристрою реєстрації.
 - B. Пристрою знімання інформації, підсилювача і пристрою реєстрації.
 - C. Генератора сигналу, підсилювача і пристрою контролю рівня сигналу.
 - D. Апаратури знімання інформації, обчислювального засобу та апаратури реалізації лікувальних впливів.
 - E. Генератора сигналу, передавача, приймача сигналу та реєструючого пристрою.
6. Оберіть вірне твердження:
 - A. В основі роботи моніторних систем лежить анкетування населення.
 - B. Типовим представником медичного апаратно-програмного комплексу є система «Стаціонар».
 - C. В експертних системах реалізується логіка прийняття рішень досвідченим лікарем-клініцистом.
 - D. Аналого-цифровий перетворювач перетворює цифровий сигнал в електричний.
 - E. Скринінгові системи є різновидом систем біологічного зворотного зв'язку.
7. Електронна форма медичної карти не може використовуватися для:
 - A. Накопичення, зберігання, зручного перегляду медичної інформації.
 - B. Пошуку необхідної інформації.
 - C. Спостереження за хворими в палатах інтенсивної терапії.
 - D. Відстеження тимчасової залежності окремих діагностичних параметрів.
 - E. Дослідження ефективності роботи.

ТЕМА 4

МЕДИЧНІ АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ КОМПЛЕКСИ

Призначення і принципи побудови

Технічні засоби, які використовуються в медичній діагностиці, можна умовно розділити на три основні категорії: інструменти, вимірювальні прилади та апаратно-програмні комплекси.

Інструменти являють собою прості механічні пристрої для взяття різних проб або для полегшення доступу до досліджуваного органу. *Вимірювальні прилади* є автономними пристроями, які виконують вимірювання значення деякого клінічного показника і представляють його лікарю в зручній для сприйняття формі. Прикладами таких пристроїв є гастроскопи, лабораторні аналізатори та ін. На відміну від вимірювальних приладів *апаратно-програмні* комплекси виконують не тільки вимірювання первинних клінічних показників, але і виробляють над цими показниками різні і нерідко досить складні *обчислення і перетворення*, видаючи лікарю результат вже у вигляді похідних комплексних показників, функціональних залежностей або ж у формі попереднього словесного висновку.

Вимірювальні прилади знаходять застосування у двох діаметрально протилежних галузях:

- там, де вимірювані показники являють собою прості змінні і для діагностики достатньо знати їх поточне числове значення;
- там, де лікарю для діагностики необхідно бачити картину внутрішніх органів, яка за своєю складністю і комплексністю не піддається обчислювальному аналізу.

Апаратно-програмні комплекси (АПК) застосовуються в тих граничних галузях, які, з одного боку, характеризуються показниками, досить складними для безпосередньої діагностики, а з іншого боку, там є можливість обчислювального (функціонального) перетворення цих показників до виду, більш простому для формулювання клінічного висновку. Фактично апаратно-програмні комплекси є інтеграцією вимірювального приладу з обчислювальним пристроєм, при якій встановленою в комп'ютер програмою забезпечується комплексне виконання наступних чотирьох функцій:

- управління роботою вимірювального приладу і супутніх йому пристроїв;
- знімання і запам'ятовування показань вимірювального приладу або реєстрація даних;
- перетворення і обчислювальний аналіз зареєстрованих даних;
- представлення і виведення отриманих результатів у числовій, графічній або текстовій формі.

Однією з основних галузей розвитку *АПК*, в якій найбільш комплексно і повно реалізується виконання ними чотирьох перерахованих вище функцій, є функціональна діагностика, проведена на основі аналізу таких електрофізіологічних показників, як електроенцефалограма (*ЕЕГ*), викликані потенціали (*ВП*) головного мозку, електрокардіограма (*ЕКГ*), електроміограма (*ЕМГ*), реограма (*РГ*) та ін. Її принципова відмінність полягає в тому, що основним об'єктом аналізу є не точкові і статичні вимірювання стану організму (якими би складними і комплексними вони не були), а динамічні характеристики процесів життєдіяльності з їх зміною в часі.

У складі сучасного електрофізіологічного *АПК*, узагальнена схема якого наведена на *рис. 4.1*, доцільно виділити п'ять компонентів.

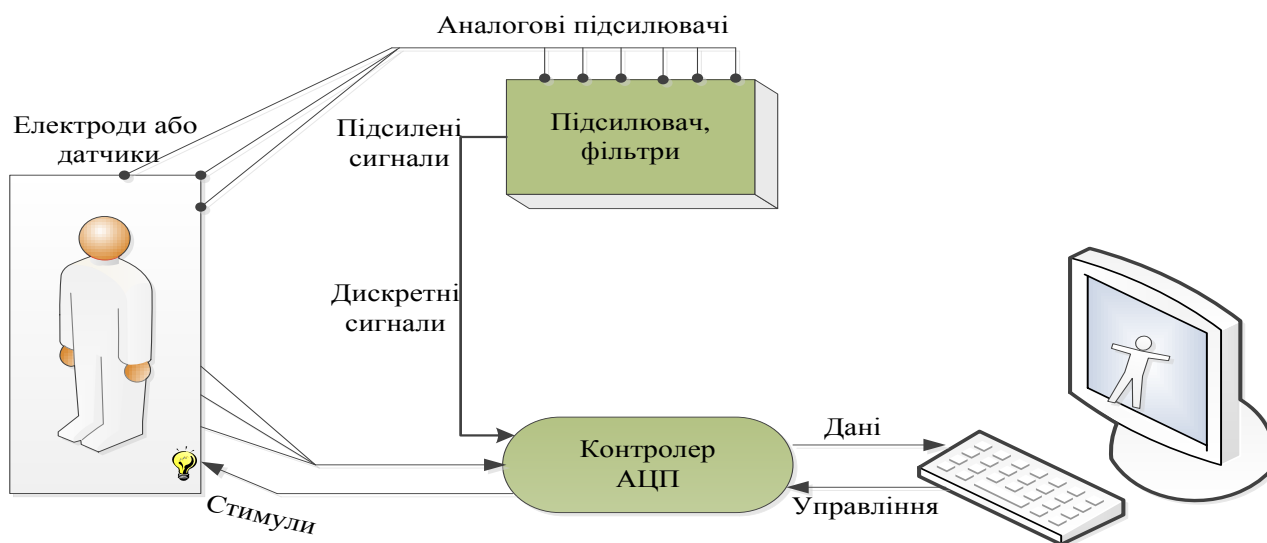


Рис. 4.1. Узагальнена схема електрофізіологічного апаратно-програмного комплексу

1. Електроди для вимірювання активних і пасивних електричних показників і **датчики** для вимірювання не електричних показників розташовуються на пацієнті або ж у безпосередній близькості від нього. Отримані сигнали можуть бути двох типів:

- аналогові (тобто безперервно змінюються в часі і в деякому амплітудному діапазоні) сигнали являють собою власне вимірювані біопоказники і подаються на вхід біопідсилювача для проміжного посилення і перетворення;

- дискретні сигнали, що мають тільки два стани Так/Ні, можуть подаватися безпосередньо на вхідний порт (вхідний регістр) контролера *АЦП*; такі сигнали зазвичай використовуються як відмітки про виникнення різних подій у процесі дослідження, а також про поведінкові реакції і рухи.

2. Підсилювач здійснює три основні операції:

- посилює низькоамплітудні біосигнали до вхідного діапазону *АЦП* (зазвичай до рівня $\pm 5В$), щоб максимально підвищити точність подальшого їх перетворення в цифрову форму (інтегральну чутливість);

- здійснює фільтрацію сигналів у заданій смузі пропускання з видаленням низькочастотних і високочастотних складових за допомогою аналогових фільтрів верхніх (*ФВЧ*) і нижніх (*ФНЧ*) частот;

- видаляє з біосигналів мережне наведення на частоті 50 Гц за допомогою режекторного (вирізаючого) фільтра.

Багато сучасних біопідсилювачів володіють можливістю поканального регулювання коефіцієнтів підсилення і смуг пропускання, що робить їх універсальними в плані застосовності для спільної реєстрації різних електрофізіологічних показників (так звана поліграфія). На підсилювач зазвичай припадає основна частина вартості апаратно-програмного комплексу.

3. Аналого-цифровий перетворювач (контролер *АЦП*) здійснює перетворення вхідних аналогових сигналів у цифрову форму, прийнятну для введення в комп'ютер, із заданою частотою повторення таких перетворень або частотою дискретизації. Основними технічними характеристиками *АЦП* є число вхідних аналогових каналів, число дискретних вхідних і вихідних каналів (визначається розрядністю вхідного і вихідного портів), розрядність результату аналогового перетворення, максимальна частота оцифровки сигналу (обумовлена часом *АЦ*-перетворення), число ефективних розрядів (або старших розрядів *АЦ*-перетворення, не порушених впливом шумів) і їх зміна з частотою. Типові сучасні контролери *АЦП* зазвичай мають 16 вхідних аналогових каналів, 8 вхідних і 8 вихідних дискретних каналів, 12-розрядне перетворення з часом порядку мікросекунди, що більш ніж достатньо для більшості електрофізіологічних досліджень.

4. Виконавчі пристрої призначені для виконання різних впливів на пацієнта терапевтичного або тестуючого характеру або ж для інших змін у процесі дослідження (наприклад, режимів роботи зовнішньої апаратури та пристроїв). Так, в галузі енцефалографії і міографії для тестуючих впливів на пацієнта застосовуються різні фоно-, фото- та електростимулятори, у яких у ході дослідження необхідно програмно регулювати тривалість і момент подачі стимулу, інтервал між стимулами, інтенсивність і частоту стимуляції. Управління виконавчими пристроями зазвичай проводиться з вихідного порту контролера *АЦП*.

5. Персональний комп'ютер зі спеціальним програмним забезпеченням управляє роботою всіх інших компонентів в реальному часі і здійснює аналіз реєстрованих показників, діагностику і видачу результатів. Уявлення про те, що собою являє типовий апаратно-програмний комплекс в реальному конструктивному втіленні, можна отримати за *рис. 4.2*.



Рис. 4.2. Загальний вигляд АПК «DX-NT 32»

Типи апаратно-програмних комплексів

Серед апаратно-програмних комплексів за конструктивним втіленням можна виділити стаціонарні, мобільні й автономні, а за функціональними можливостями – клінічні та дослідницькі.

Мобільні системи відрізняються від **стаціонарних** тільки тим, що замість настільного персонального комп'ютера в них використовується портативний комп'ютер, у зв'язку з чим вони разом з реєструючими пристроями можуть бути розміщені в одному портфелі або валізі, легко транспортуються і можуть бути використані для клінічної діагностики поза стаціонару, на виїздах або в польових умовах.

Автономні системи ще більш компактні завдяки тому, що керуюча й обчислювальна програма в них реалізується не на персональному комп'ютері, а на вбудованих мікропроцесорах в рамках цілісного однокорпусного приладу. Однак це обмежує їх функціональні можливості і дозволяє вбудовувати виконання мінімуму функцій і методик. Нерідко при цьому обмежуються лише функціями реєстрації та візуалізації біосигналів з обчисленням базових похідних показників. Зазвичай у вигляді автономних приладів випускаються кардіографи, реографи і спірографи.

Клінічні системи орієнтовані на виконання того чи іншого суворо окресленого кола типових медичних методик. Безперечною перевагою таких систем є саме їх обмеженість, яка дозволяє максимально спростити роботу з ними, зробивши її доступною для виконання допоміжним медперсоналом, розвантажуючи тим самим лікаря від рутинної роботи. Доведене до автоматизму виконання стандартних методик з мінімумом тимчасових витрат є особливо ефективним при масових діагностичних обстеженнях.

Дослідницькі системи на додаток до цього містять широкий набір керуючих, аналітичних, образотворчих і конструкторських програмних засобів, що дозволяють реалізовувати різноманітні і нові методики як клінічного, так і науково-дослідного призначення. Тому робота з такими системами з повнотою використання наданих можливостей вимагає підвищеної професійної кваліфікації і творчого мислення. У той же час після реалізації конкретної методики вона може бути зафіксована в окремому файлі стандартних налаштувань, після чого її виконання за своєю трудомісткістю і вимогам до кваліфікаційного рівня персоналу буде несуттєво відрізнятися від роботи з клінічними системами.

Залежно від розв'язуваних завдань засоби медичної техніки, у тому числі АПК, можна розділити на такі групи:

- апаратно-програмні комплекси для дослідження структурних та функціональних характеристик організму;
- апаратно-програмні комплекси для профілактичних, лікувальних і реабілітаційних впливів.

Архітектура комп'ютерного функціонального дослідження

Показники

Вихідним матеріалом для функціональної діагностики є електрофізіологічні показники, що характеризують стан людини і роботу його окремих органів і систем життєдіяльності. Ці показники за способом свого вимірювання можуть бути розбиті на три категорії.

1. Біоелектричні показники прямого вимірювання являють собою електричні потенціали, що генеруються різними утвореннями в центральній і периферичній нервовій системі:

- електроенцефалограма (ЕЕГ), що відображає зміну біопотенціалів головного мозку;
- викликані потенціали (ВП) або фонові зміни середнього рівня ЕЕГ у відповідь на зовнішні подразники;
- електрокардіограма (ЕКГ) відображає електричну активність серця, викликану скороченнями серцевих м'язів;
- електроміограма (ЕМГ) відображає електричну активність, пов'язану зі скороченням скелетних м'язів;
- електроокулограми (ЕОГ) – це електроміограми м'язів, що керують рухами очного яблука.

2. Показники непрямого електровимірювання виражаються в зміні електричного опору ділянок шкіри і тіла людини, для вимірювання якого необхідне додаткове пропускання струму через орган, який досліджують:

- реограма (РГ) або зміна об'ємного опору ділянок тіла і органів, викликане рухом крові по судинах, тобто зміною кровонаповнення;
- шкірно-гальванічна реакція (КГР) або зміна опору шкіри реакціями на подразнення емоційного і больового характеру відбиваються на діяльності потових залоз.

3. Показники перетворювального вимірювання відображають різні процеси біохімічного або біофізичного походження, що вимагають попереднього перетворення в зміні електричного струму або напруги за допомогою спеціалізованих датчиків:

- фонокардіограма (ФКГ), що представляє акустичні вимірювання шумів серця;
- спірограма (СГ), що відображає динаміку зміни швидкості повітряного потоку з легенів при вдиху і видиху; динаміка дихального ритму зазвичай вимірюється за розтягуванням/стисненням нагрудних еластичних ременів з п'єзодатчиками;
- пульсоксиметрія (ПО) фіксує зміни насичення крові киснем по відбитому світлі з використанням світлочутливих датчиків;
- плетизмограма (зміна кровотоку) відображає зміну об'єму органів залежно від кровонаповнення.

Перераховані показники істотно відрізняються один від одного як за способами вимірювання, так і за методами аналізу.

Основні етапи комп'ютеризованого функціонального дослідження

Повний цикл сучасного комп'ютеризованого функціонального дослідження включає п'ять основних етапів:

1. *Реєстрація* зміни електрофізіологічних показників (*ЕФП*) пацієнта зі збереженням їх в архіві на жорсткому диску (або виконання запису біосигналів). Перед цим етапом пацієнт і апаратура проходять відповідну підготовку, пов'язану з накладенням електродів, комутацією відведень на вхідних каналах підсилювача, включенням електроживлення, виконанням фізіологічних проб та ін., що принципово виходить за рамки можливої комп'ютерної автоматизації.

У свою чергу реєстрація *ЕФП* включає два підетапи:

- планування дослідження (може бути відсутнім при проведенні дослідження за однією з типових клінічних методик);
- проведення дослідження (так званий режим реального часу, що супроводжується моніторингом і записом *ЕФП*).

2. *Читання* з дискового архіву обраного запису *ЕФП*, виведення на монітор для подальшого візуального вивчення та аналізу.

3. *Редагування* запису, пов'язане з видаленням артефактів, виділенням ділянок, що становлять інтерес для чисельного аналізу, виконанням спеціальних перетворень та інших допоміжних операцій.

4. *Обчислювальний аналіз* записів з отриманням на екрані його результатів у числовому і графічному вигляді. Засоби обчислювального аналізу диференціюються залежно від виду досліджуваного електрофізіологічного показника.

5. *Документування* дослідження, яке у видачі на друк числових і графічних результатів і у формуванні медичного висновку з діагнозом і терапевтичними рекомендаціями. Робота на всіх етапах дослідження здійснюється з використанням миші, клавіатури і екрану персонального комп'ютера, який в більшості електрофізіологічних систем має досить стандартний вигляд (рис. 4.3).

Більшу частину екранного простору займає основне робоче вікно – *монітор записів*, де в порядку каналів (відведень) розташовуються криві зміни в часі електрофізіологічних показників з позначеннями відведень в правій частині монітора, а у верхньому рядку монітора наводяться паспортні дані поточного запису. На монітор можуть накладатися масштабні сітки: горизонтальна тимчасова і вертикальна амплітудна, а по запису – переміщатися спеціальні *візури і покажчики*, якими можна виробляти ручні вимірювання амплітуд, тимчасових інтервалів та інших параметрів біосигналів з відображенням значень у спеціальному екранному *табло* і з накопиченням їх в *блокноті* (типу електронної таблиці) для подальшого обчислювального аналізу.

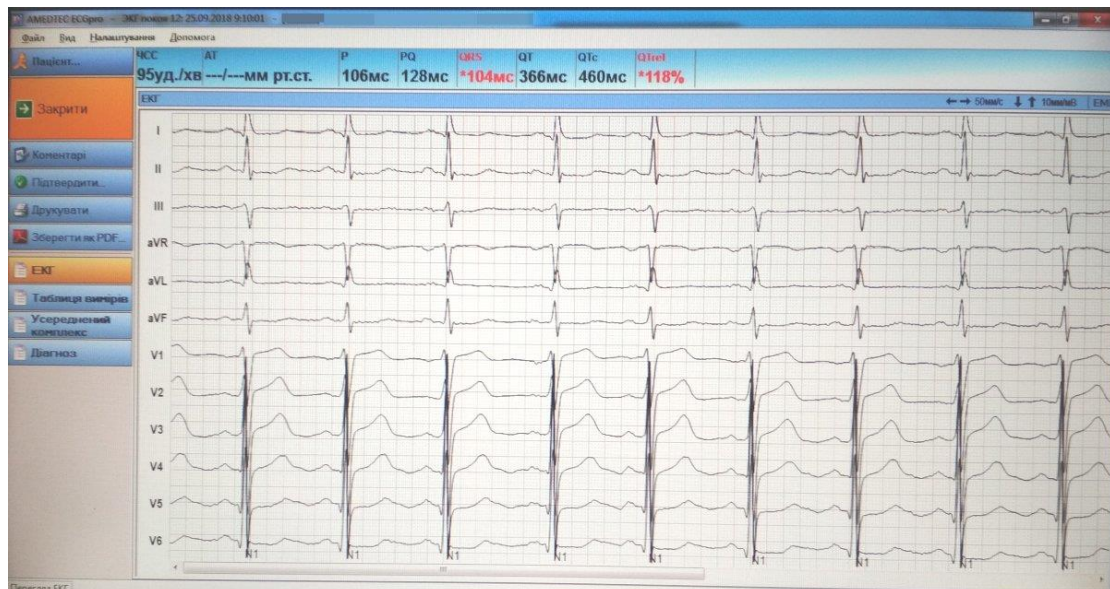


Рис. 4.3. Екран електрофізіологічного аналізатора

Зверху від монітора розташовуються дві типові для Windows-додатків рядки: лінійка викидних списків основних операцій і лінійка інструментальних кнопок, які дублюють найбільш часто виконувані операції. Так в режимі перегляду і редагування записів тут присутні кнопки роботи з дисковими архівами, масштабування записів, плавного і швидкого їх руху по екрану, видалення виділених фрагментів, зміни числа і порядку каналів, які відображаються, та ін.

Планування дослідження

Цей етап наявний тільки в разі реалізації нової методики і пов'язаний з настройками режимів реєстрації та порядку проведення дослідження. Після налагодження режимів реєстрації всі вироблені налаштування фіксуються у вигляді стандартного плану дослідження, що зберігається в дисковому архіві. Тому при подальших дослідженнях за раніше налагодженою методикою досить виконати лише лічені операції:

- зчитати файл плану з архіву;
- вести паспортні дані пацієнта – заголовок;
- вказати ім'я файлу запису біосигналів;
- розпочати виконання дослідження.

При плануванні нового дослідження необхідно визначити наступні основні його параметри:

Кількість відведень (тобто позицій на тілі пацієнта, де кріпляться електроди і датчики, з яких знімаються електрофізіологічні показники) може становити від 1 до 32 (але не більше кількості фізичних каналів підсилювача).

Частота реєстрації визначає дискретизацію системного часу. З цією частотою виробляється введення аналогових сигналів з АЦП за всіма встановленими каналами, введення дискретних сигналів і відпрацювання керуючих впливів.

Для звичайних клінічних досліджень (*ЕЕГ*, *ЕКГ*, *РГ*) реєстрація сигналів проводиться з частотою від 100 до 256 Гц, для стимуляційної міографії – від 500 Гц до 5 кГц, при дослідженні коротколатентних *ВП* можуть знадобитися і більш високі частоти – до 10 кГц.

Вибір частоти дискретизації визначається верхньою частотою процесів, які необхідно зареєструвати і аналізувати. З радіотехніки відомо (теорема Котельникова та наслідки з неї), що для виділення гармонійної складової в спектрі з верхньою частотою f необхідна частота дискретизації вхідного сигналу не менше $2f$.

Інтервал спостереження являє собою часовий проміжок, протягом якого реєстровані біосигнали будуть накопичуватися в оперативній пам'яті до запису їх на магнітний диск. Вибір інтервалу спостереження визначається потребами конкретного дослідження: або робити довгі записи, або ж записувати серію коротких спостережень. У типових дослідженнях *ЕЕГ*, *ЕКГ*, *РГ* використовують інтервали від 10 с до 1–2 хв, при дослідженнях *ВП* інтервали можуть скорочуватися до 50–100 мс, а при спеціальних дослідженнях *ЕЕГ* в стані сну або при моніторингу *ЕКГ* – збільшуватися до багатьох годин.

Позначення відведень необхідні для того, щоб при подальшому перегляді та аналізі запису знати, на якому каналі був записаний який показник. Для *ЕЕГ*-досліджень тут же необхідно намалювати схему розташування електродів на голові пацієнта (монтаж).

Експрес-аналіз. У ряді спеціальних досліджень крім моніторингу біосигналів необхідно виконати їх експрес-аналіз в реальному часі і відобразити на екрані його результати. Найчастіше це стосується обчислення і картування спектральних характеристик *ЕЕГ*, візуалізації зміни кардіоритму (*RR*-інтервалів *ЕКГ*), усереднення *ВП* і навчання за методом біологічного зворотного зв'язку.

Виконання дослідження

Режим реального часу, або реальний режим, – це загальноприйнятий термін для роботи цифрових обчислювальних пристроїв з управління фізичними процесами, які не можна перервати, зупинити або відкласти в часі. У медичних дослідженнях його синонімом є «моніторинг та реєстрація електрофізіологічних показників».

Екран режиму реального часу мало чим відрізняється від типового екрану (рис. 4.4), за винятком того, що у вікні монітора дослідник спостерігає динаміку зміни біосигналів у реальному часі. В інструментальному рядку є кнопки ручного управління дослідженням, що дозволяють подавати в потрібні моменти управляючі дії (стимули), а також включати і вимикати запис результатів реєстрації сигналів на диск.

Перегляд і редагування запису. Результатом дослідження в реальному часі є дисковий файл, який може включати один запис або ж кілька записів біосигналів фіксованого або змінного розміру, виконаних за заданим числом каналів з мінімальними або ж тривалими часовими інтервалами між собою.

Дослідження запису може починатися відразу після закінчення реального режиму або ж у будь-який зручний момент часу. Зроблений запис зчитується з архіву і проглядається на екрані монітора для виявлення ділянок, що становлять інтерес для подальшого аналізу і для видалення артефактів.

Якщо артефактів при реєстрації біосигналів таки не вдалося уникнути, то існують наступні можливості їх виключення із запису перед обчислювальним аналізом:

- видалення відповідних ділянок, зазначених вручну;
- автоматичне видалення всіх ділянок зміни сигналу, де є перевищення заданого амплітудного рівня з тривалістю, яка перевершує заданий часовий інтервал;
- фільтрація сигналу з видаленням гармонійних складових у вказаному діапазоні частот.

Обчислювальний аналіз

Після завершення перегляду і редагування запису можна приступити власне до обчислювального аналізу, методи і засоби якого істотно різняться залежно від галузі дослідження. Разом з тим можна виділити три категорії методів, які використовуються при аналізі біосигналів, в порядку низхідної складності обчислень: спектрально-аналітичні, структурно-обчислювальні та структурні.

Спектрально-аналітичні методи в основному застосовуються при дослідженні процесів у центральній нервовій системі та головному мозку і базуються на процедурах частотного і чисельного аналізу з подальшим розрахунком різних локальних та інтегральних показників і з використанням різноманітних форм тимчасового і просторового представлення результатів.

Структурно-обчислювальні методи головним чином використовуються при аналізі процесів в серцево-судинній системі, базуються на виділенні різноманітних характерних структурних компонент у біосигналів (піків, точок перегину, інтервалів) з подальшим обчисленням різних похідних та статистичних показників.

Структурні методи обмежуються виділенням одиничних структурних компонент біосигналів і вимірюванням їх параметрів, іноді доповнюються вибіркоким усередненням. Ці методи застосовуються до показників з більш простішою і однорідною динамікою, таких як *ЕМГ*, *КГР*, дихання та ін.

Комп'ютерна діагностика

У літературі іноді трапляються повідомлення про появу нових експертних систем, що видають вичерпний клінічний висновок, який лікар має тільки підписати. До цього слід ставитися скептично, як і до спроб видати бажане за дійсне, оскільки в досяжному майбутньому замінити діагностуючого лікаря неможливо з наступних двох основних причин. Перш за все, це визначається лікарською та юридичною відповідальністю за правильність діагнозу і подальше лікування, яку жодним чином неможливо покласти на комп'ютерну програму, якою б досконалою вона не була (комп'ютерна програма може відповідати тільки за лікування іншої комп'ютерної програми). З іншого боку, межі норми і патології у фізіології часто є настільки розмитими і умовними, що одні й ті ж значення показників або їх поєднання можуть в одних випадках свідчити про норму, а в інших – бути наслідком будь-якого (з ряду абсолютно різних) захворювання, тому для коректного клінічного висновку потрібен неформалізований професійний досвід лікаря із залученням даних інших обстежень і вивченням історії хвороби пацієнта.

Таким чином, основним завданням комп'ютерної діагностики залишатиметься виявлення числових відхилень від норми для залучення клініциста і позбавлення його від попередньої рутинної переглядової роботи, що особливо актуально при тривалих спостереженнях і масових профілактичних обстеженнях.

Функціональні методи діагностики

Енцефалографія і викликані потенціали мозку

Діяльність вищого з відомих творінь еволюції – людського мозку неймовірно складна і вкрай важко піддається вивченню і систематизації. Тому на відміну від інших електрофізіологічних показників, тут набагато менше стійких числових характеристик і детермінованих діагностичних критеріїв, а адекватність клінічного висновку величезною мірою визначається професійним досвідом та інтуїцією висококваліфікованого клініциста.

До того ж, якщо після аналізу інших показників зазвичай можна прописати лікування, тією чи іншою мірою відновлюючи нормальний стан, то результатом дослідження *ЕЕГ* зазвичай є лише рекомендації з корекції поведінки і обмеження видів діяльності.

Енцефалографія

Енцефалографія (*ЕЕГ*) – один з найпоширеніших методів дослідження функції головного мозку. Мільярди нервових клітин постійно обмінюються між собою інформацією, яка передається у вигляді електричних імпульсів дуже малої інтенсивності. За допомогою високочутливих приладів можна вловити імпульси головного мозку і записати їх у вигляді електроенцефалограми.

Схема реєстрації

У клінічній електроенцефалографії найбільш поширена міжнародна система «10–20 %» для розташування (монтажу) 19+1 електродів на голові пацієнта (*рис. 4.4*), а також її різні скорочені або розширені модифікації.

При цьому переважно використовується так звана *монополярна* схема відведення, коли крім загального земляного електрода (що фіксується зазвичай на лобі) використовується і загальний негативний *референтний* електрод (найчастіше фіксується на мочці вуха або на кісточці за вухом – на *мастоїді*), а електроди від скальпа комутуються з плюсовими входами біопідсилювача. Перевагою такої схеми перед *біполярними відведеннями* (коли негативні входи біопідсилювача диференційовано комутуються з іншими електродами, також розташованими на скальпі) є можливість реєструвати власну форму електричного потенціалу в конкретній точці. Крім того, оскільки реєструючи електроди розташовані відносно далеко один від одного, амплітуда *ЕЕГ* виходить досить високою, що дозволяє виявити низькоамплітудні електричні компоненти в *ЕЕГ*.

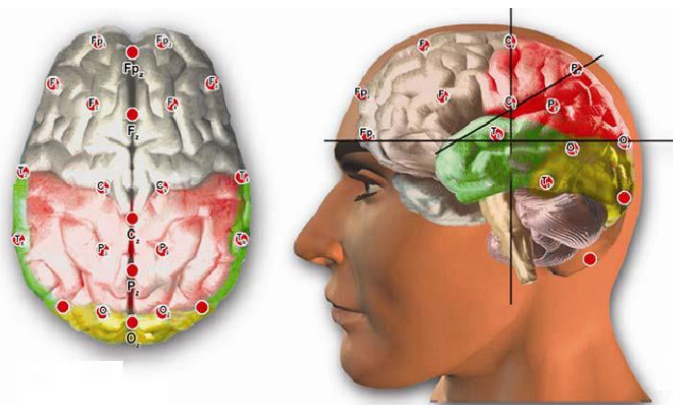


Рис. 4.4. Схема розташування ЕЕГ-електродів

Функціональні проби

Як основну функціональну пробу при проведенні *ЕЕГ*-дослідження використовують зазвичай стандартну пробу «закриті очі», а також різні стимуляційні проби і гіпервентиляцію.

Стандартними умовами *ЕЕГ*-дослідження є спокійне, розслаблене положення пацієнта у світло-і звукоізолюваному приміщенні, з головою на спеціальному підголівнику і з закритими очима. Таке положення усуває міографічні артефакти, пов'язані з напругою м'язів і окоруховими рухами. Запис проводиться протягом однієї або декількох хвилин після заспокоєння пацієнта і стабілізації *ЕЕГ* на моніторі. Варіантом стандартної проби є відкривання і закривання очей, що дозволяє виявити ступінь контактності обстежуваного, рівень його свідомості і орієнтовно оцінити реактивність *ЕЕГ*.

Для виявлення реакцій мозку на зовнішні впливи застосовують одиночні стимули у вигляді короткого спалаху світла, звукового клацання або тону. У клінічних дослідженнях спалахи світла частіше подають на закриті очі обстежуваного при відстані лампи від очей 25–30 см. Серії спалахів світла заданої частоти застосовують для дослідження реакції засвоєння ритму – здатності електроенцефалографічних коливань відтворювати ритм зовнішніх подразнень. У нормі реакція засвоєння ритму добре виражена на частоті мигтіння, близької до власних ритмів *ЕЕГ*. Поширюючись дифузно і симетрично, ритмічні хвилі засвоєння мають найбільшу амплітуду в потиличних (зорових) відділах.

Гіпервентиляція проводиться зазвичай в кінці дослідження, оскільки пов'язана з довготривалим впливом на внутрішній стан організму. Суть її зводиться до того, що обстежуваному пропонують глибоко, ритмічно дихати протягом 3 хв.

Стимуляція і гіпервентиляція дозволяють виявити приховану епілептичну активність і визначити локалізацію епілептичного фокусу. Ефект гіпервентиляції пов'язаний з церебральною гіпоксією, розвивається внаслідок рефлекторного спазму артеріол і зменшення мозкового кровотоку у відповідь на зниження вмісту CO_2 в крові.

Морфологія ЕЕГ

У ході клінічного опису записів *ЕЕГ* виділяють певні морфологічні компоненти, а саме: ритми, ознаки епілептиморфної активності, тимчасові і топографічні характеристики.

Щодо поняття «ритм» на *ЕЕГ*, то йдеться про певний тип електричної активності, який відповідає деякому стану мозку і пов'язаний з церебральними механізмами. У клінічних дослідженнях зазвичай виділяють чотири типи ритмів, послідовно зростаючої частоти: дельта-, тета-, альфа- і бета-ритми.

Основним засобом дослідження *ЕЕГ* залишається візуальний аналіз нативних записів, на підставі якого відповідно до рекомендацій Міжнародної федерації енцефалографологів і має будуватися клінічний висновок. Проте на додаток до цього широко використовуються і різні обчислювальні методи дослідження *ЕЕГ*.

Застосування апаратно-програмного комплексу аналізу *ЕЕГ* значно розширюють можливості методу функціональної діагностики уражень головного мозку. Зниження суб'єктивності в інтерпретації *ЕЕГ*, можливість візуальної оцінки зони, конфігурації і ступеня активності патологічного вогнища при картуванні сукупності з текстовим описом дозволяє клініцисту краще розпізнати характер і розташування патологічного процесу.

У такому *АПК* передбачаються основні режими обробки *ЕЕГ*:

- – обробка інтервалу даних;
- – картування функціональної проби;
- – томографія функціональної проби;
- – спектральний аналіз;
- – інші.

Після закінчення реєстрації *ЕЕГ* дослідник може отримати дані у вигляді таблиць, графіків, топографічної карти або групи карт, у вигляді томографічного зрізу або словесного опису *ЕЕГ*. У вигляді таблиці можуть бути представлені результати частотного (або спектрального) аналізу.

Частотний аналіз *ЕЕГ*

Частотний, або *спектральний*, аналіз за методом швидкого перетворення Фур'є є базисом більшості сучасних обчислювальних досліджень *ЕЕГ*. Суть його полягає в розкладанні деякого сигналу $s(t)$, виміряного на деякому тимчасовому інтервалі T із заданою частотою дискретизації F , в послідовність синусоїдальних складових, кожна з яких характеризується амплітудою і фазовим кутом. Результат такого розкладу представляється у вигляді амплітудно-частотної і фазочастотної характеристик і похідних від них.

Графік амплітудно-частотної характеристики дає наочне і кількісне уявлення, на яких частотах зосереджена основна потужність *ЕЕГ*-сигналу.

Спектральні показники

На основі частотних характеристик обчислюються похідні *спектральні показники* за стандартними або спеціальними частотними діапазонами *ЕЕГ*. Найбільш відомі з них наступні чотири:

- A_{cp} – середня амплітуда спектра в заданому частотному діапазоні *ЕЕГ*;
- A_{max} – максимальна амплітуда спектра в заданому частотному діапазоні *ЕЕГ*;
- F_{cp} – середньозважена частота в заданому частотному діапазоні *ЕЕГ*;
- F_{max} – частота максимальної амплітуди спектра в заданому частотному діапазоні *ЕЕГ*.

Результати комп'ютерного спектрального аналізу *ЕЕГ* представляються у вигляді гістограм за кожним каналом, де по горизонталі представлені послідовні частотні діапазони, а висота стовпчиків пропорційна відповідним значенням спектрального показника (рис. 4.5). Гістограми відображають середню спектральну густину потужності в різних частотних піддіапазонах. Темним кольором виділяються піддіапазони тета-, дельта-, світлим кольором – альфа- і бета.

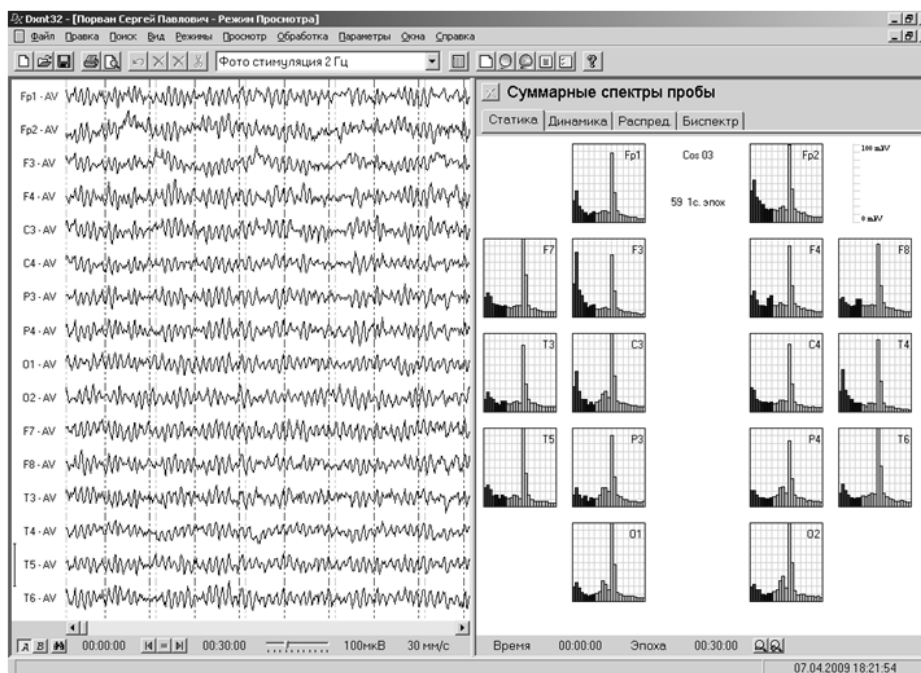


Рис. 4.5. Результати комп'ютерного спектрального аналізу *ЕЕГ*

Аналіз за епохами

Нерідко дослідника цікавлять не тільки одноразові оцінки спектра, але і динаміка зміни різних частотних складових і показників з часом. У цьому випадку проводять тривалі безперервні записи *EEG* (від однієї до десятків хвилин), які при аналізі розбивають на більш короткі *epoхи* (від однієї до десятка секунд). Потім для кожної епохи обчислюють частотні характеристики і спектральні показники і будують графіки або стовпчикові діаграми їх часових залежностей. Якщо потрібно, щоб графіки виходили більш гладкими, то вихідний запис розбивають не на епохи, які йдуть суворо одна за одною, а на епохи із заданим ступенем перекриття.

Картування

Картування є засобом наочної візуалізації розподілу значень різних *EEG*-показників на поверхні мозку. Спочатку виміряні або обчислені значення *EEG*-показників у точках розташування відведень позначаються на умовній плоскій схемі мозку в колірній шкалі: максимум – червоний, мінімум – синій, а потім ці кольори «розмиваються» по всьому полю з використанням спеціальних алгоритмів двовимірного згладжування та інтерполяції. У результаті виходить наочна картинка, яка дозволяє моментально побачити локалізацію на скальпі ділянок максимуму або мінімуму біопотенціалів або ж ділянок активації і депресії *EEG*-процесу (рис. 4.6).

Передбачається, що комп'ютер самостійно аналізує поточну функціональну пробу і вибирає ділянки, що містять найбільшу кількість інформації. Такими зазвичай є ділянки, де спостерігається максимальна міжканальна або частотна асиметрія. Даний вид аналізу може виявитися корисним у тих випадках, коли феномен, що нас цікавить, лише зрідка з'являється на кривій, а бажано вивчити саме його, а не сумарні дані.

Локалізація EEG-джерел

Цей обчислювальний метод аналізу *EEG* є порівняно новим, ще не знайшов широкого застосування в клінічній практиці. Він виходить з припущення про те, що спостережувана на поверхні скальпа картина *EEG*-потенціалів утворюється випромінюванням від деякої безлічі точкових джерел або диполів, локалізованих у внутрішніх мозкових структурах. При цьому сам мозок розглядається як однорідне й ізотропне середовище для проведення таких випромінювань, що є певним модельним спрощенням. Далі з використанням чисельних ітераційних методів вирішується зворотна задача: в яких місцях і скільки треба розташувати диполів, щоб отримана від них картина випромінювання на скальпі відрізнялася від спостережуваної не більше заданого критеріального рівня. Знайдені диполі відзначаються на різних проєкціях головного мозку (рис. 4.6), при цьому для наочності на ці проєкції нерідко накладається і реальна анатомічна картина внутрішньомозкових структур.

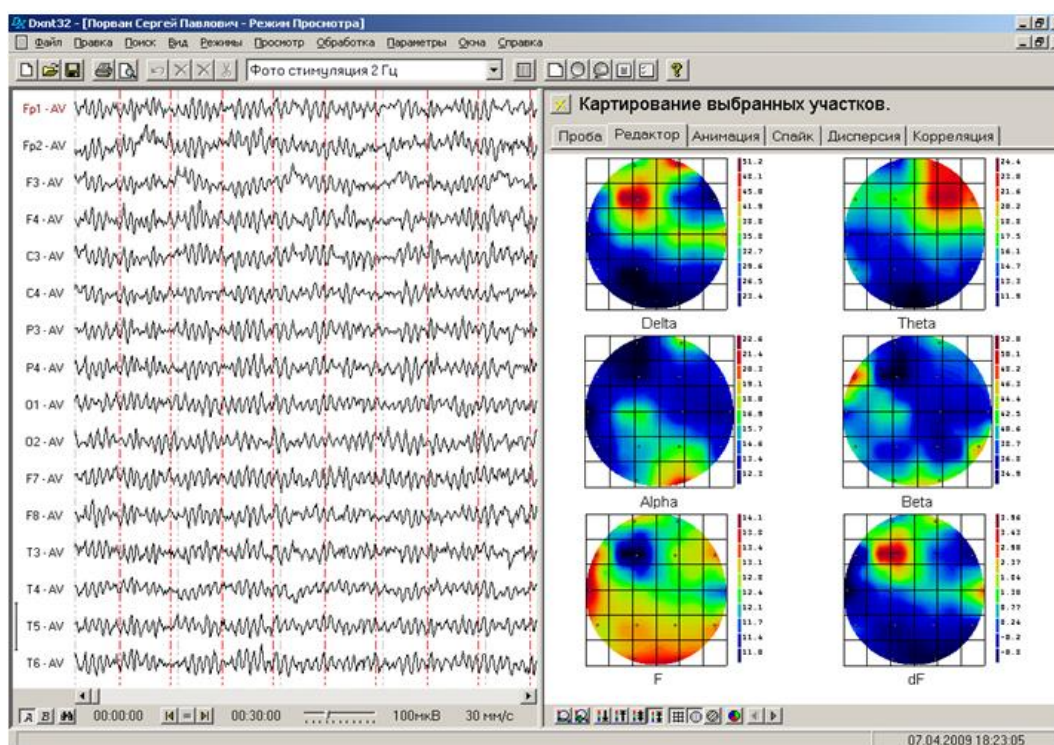


Рис. 4.6. Вікно програми «Картування обраних ділянок»

Томографія

Одним із способів обробки *EEG* є імовірнісний томограф. Його робота заснована на тому, що склепіння черепа має об'ємну, близьку до півсфери форму. Задаючи лінію «зрізу» можна отримати карту, на якій буде показана усереднена за час проби амплітуда по обраній частоті або інші дані залежно від режиму обробки. При цьому на екран виводиться розташування, форма, розміри, інтенсивність прояву різних видів активності мозку в площині заданого зрізу.

Спеціальний режим томографії дозволяє отримати імовірнісний розподіл фактора, що зумовило дану активність на конвексимальній поверхні (рис. 4.7).

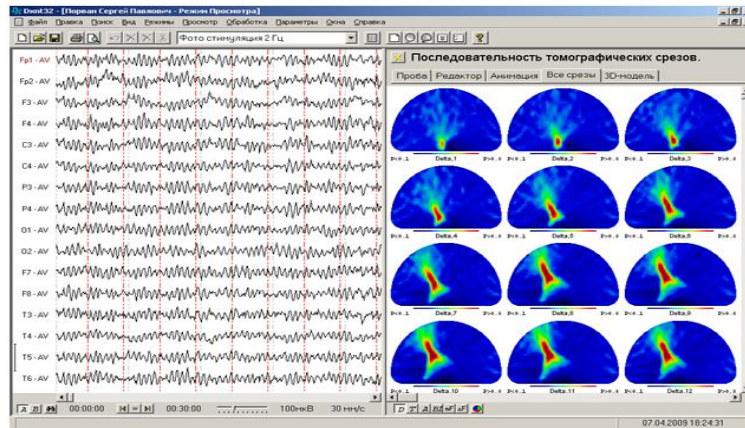


Рис. 4.7. Вікно програми «Послідовність томографічних зрізів»

Томографія однієї функціональної проби служить для побудови функціональних зрізів обраної функціональної проби. Розміщення функціонального зрізу і частотний діапазон, за яким будується зріз, визначається маркером на карті (рис. 4.8).

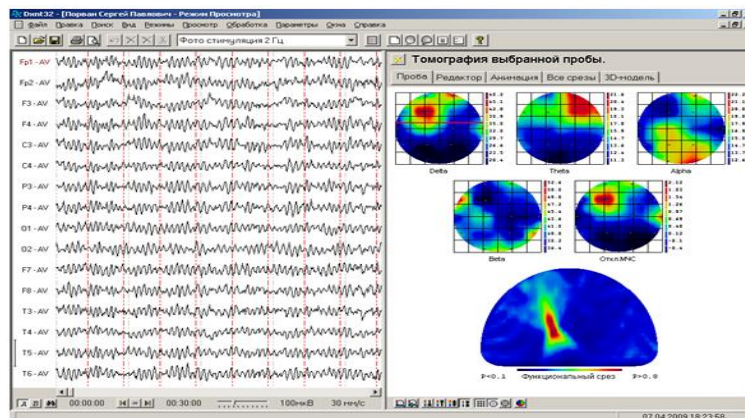


Рис. 4.8. Вікно програми «Томографія однієї функціональної проби»

Побудова тривимірної томографічної моделі створює певні зручності для клініциста. Модель будується за обраними параметрами (це може бути як стандартний частотний піддіапазон, так і результати обробки) (рис. 4.9).

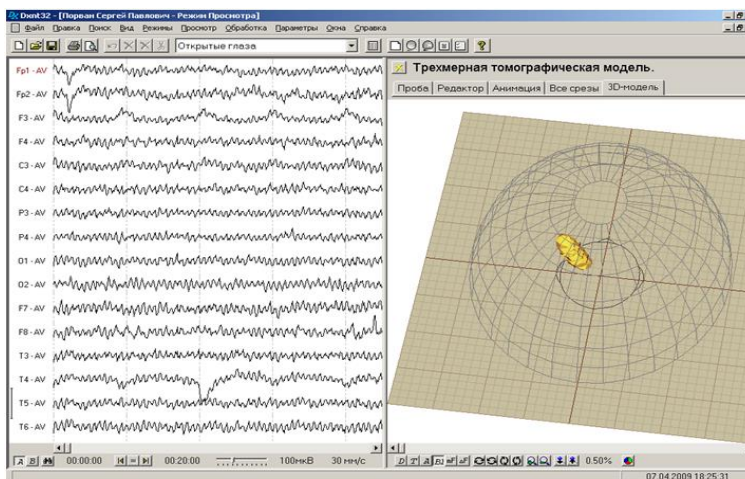


Рис. 4.9. Вікно програми «Тривимірна томографічна модель»

Викликані потенціали головного мозку

Викликаними потенціалами (ВП) називають фонові відповіді нервової системи на різного роду зовнішні стимули, що викликають активацію нервових центрів, розташованих у стовбурових відділах мозку і в центральних провідних шляхах. Коли відповіді таких нервових центрів досягають кори великих півкуль, вони накладаються на звичайну *ЕЕГ* і маскуються нею, оскільки їх амплітуда виявляється в 5–20 разів нижче середнього амплітудного рівня *ЕЕГ*. Тим самим у даному випадку нормальна *ЕЕГ* відіграє роль потужного шуму, оскільки вона, на відміну від *ВП*, не обумовлена стимулом і не синхронізована з ним. Тому дослідження *ВП* відрізняються необхідністю виконання багатьох послідовних записів нервової активності у відповідь на пред'явлення стимулу з наступним багаторазовим когерентним усереднюванням цих записів щодо моменту подачі стимулу.

Техніка дослідження *ВП* є однією з найскладніших в електрофізіології, а одержувані показники настільки динамічні і варіабельні, що для реєстрації та аналізу *ВП* потрібен найвищий рівень професійної кваліфікації та нами розглядатися не буде.

За допомогою *АПК* є можливість проводити дослідження довголатентних викликаних потенціалів або хвиль очікування за довільним числом відведень. При цьому аналіз *ВП* включає наступне: автоматичний пошук піків і коригування їх положення; побудова таблиці латентності піків, їх амплітуд; картування амплітуди *ВП* в будь-який момент часу, міжпівкульної різниці латентностей будь-якого піка, міжпівкульної різниці амплітуд будь-якого піка, анімацію амплітудної карти.

Електрокардіографія і реографія

Електрокардіографія і реографія досліджують діяльність двох складових серцево-судинної системи організму: серця і артеріально-венозного кровотоку. У цих дослідженнях переважно використовуються структурно-обчислювальні методи аналізу, пов'язані з виділенням характерних шаблонних сигналів, вимірюванням їх амплітуд і тимчасових інтервалів і обчисленням на цій основі похідних показників, які і використовуються для діагностики.

Електрокардіографія вивчає діяльність серця за його електричною активністю.

Біофізика ЕКГ

Електрична активність серця являє собою процес, який циклічно повторюється та ініціює послідовне скорочення серцевих м'язів, які у свою чергу викликають артеріальний кровотік завдяки виштовхуванню крові з шлуночків в аорту і легеневу артерію.

На електрокардіограмі (рис. 4.10) в серцевому циклі виділяється кілька послідовних у часі електричних сплесків, що іменуються *зубцями* і позначаються латинськими літерами *P*, *Q*, *R*, *S*, *T*.

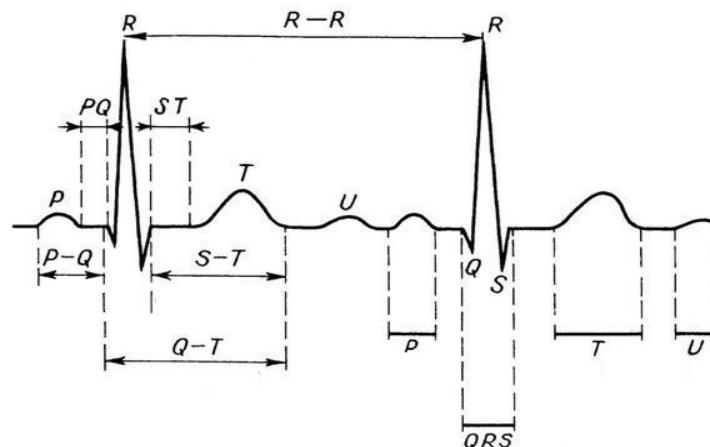


Рис. 4.10. Схема і структурні компоненти стандартного ЕКГ-циклу

Початковий імпульс *ЕКГ*-збудження виникає в синусному вузлі і поширюється в праве передсердя, потім вліво, вниз і назад – в ліве передсердя. Після активації передсердь імпульс поширюється по провідній системі серця і досягає скорочувального міокарда шлуночків, який починає порушуватися майже одночасно в різних відділах субендокардіальних шарів з поширенням збудження від ендокарда до епікарда.

Зубець P відображає збудження (деполяризацію) передсердь: у перші 0,02–0,03 с збуджується тільки праве передсердя (висхідна ланка зубця *P*), в наступні 0,02–0,03 с – праве передсердя, міжпередсердна перетинка, ліве передсердя (вершина зубця *P*), в останні 0,02–0,03 с – тільки ліве передсердя (ланка зубця *P*, що спадає). Загальна тривалість зубця *P* становить 0,06–0,11 с.

Інтервал PQ – час предсердно-шлуночкової провідності, що вимірюється від початку зубця *P* до початку першої відповіді, відповідає діастолі серця. Сегмент *PQ* розташований на нульовій лінії і відображає поширення хвилі збудження по провідній системі. Нормальна тривалість інтервалу *PQ* варіює від 0,12 до 0,20 с і залежить від частоти серцевих скорочень.

Інтервал QRS характеризує поширення збудження по міокарду шлуночків, вимірюється від початку зубця *Q* до кінця зубця *S*, тривалість його коливається від 0,06 до 0,10 с. Прийнято виділяти три вектори збудження шлуночків, які утворюють комплекс *QRS*. Початковий (перегородковий) вектор характеризує перші 0,015–0,03 с деполяризації шлуночків, відображає початок спонукання правого шлуночка. Основний вектор являє збудження шлуночків в період 0,03–0,05 с, коли *EPC* лівого шлуночка значно перевищує *EPC* правого. Кінцевий вектор відображає деполяризацію шлуночків в останні 0,06–0,08 с, зумовлений збудженням міокарда основи шлуночків.

Сегмент ST – відрізок від кінця комплексу *QRS* до початку зубця *T* – вказує на те, що міокард шлуночків повністю охоплений збудженням. Сегмент *ST* у відведеннях від кінцівок зазвичай розташований на ізоелектричній лінії. Припустимо зсув *ST* вниз до 5 мкВ і вгору до 10 мкВ.

Зубець T відповідає процесам припинення збудження шлуночків. Він може бути позитивним, негативним і двофазним. За формою зубець *T* нагадує трикутник з пологим підйомом, закругленою вершиною і крутим спуском.

Інтервал QRST, званий електричною систолою, вимірюється від початку зубця *Q* до кінця *T*. Тривалість цього інтервалу залежить від статі, віку і частоти серцевих скорочень і не повинна відрізнятися від належної більш ніж на 15 %.

Функціональні проби

Для виявлення реакцій серцевої діяльності на різного виду навантаження застосовують функціональні проби: затримку дихання, атропінові та інші медикаментозні проби, фізичне навантаження у вигляді проби «встати – сісти» або велоергометричної проби.

Система відведень

Традиційна система реєстрації *EKG* передбачає 12 відведень від пацієнта з використанням 10 електродів (рис. 4.11):

- *R* – права рука;
- *L* – ліва рука;
- *F* – ліва нога (нейтрал);
- *N* – права нога (загальна земля для апаратури, що реєструє);
- грудні електроди *i* = 1–6.

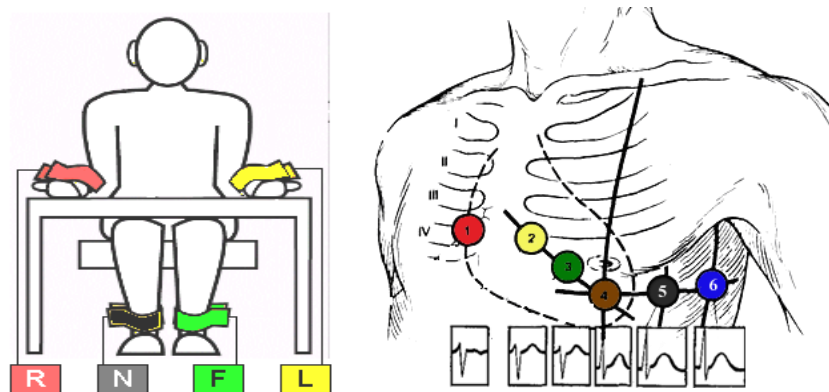


Рис. 4.11. Накладення електродів при традиційній системі реєстрації *EKG*

Клінічна *EKG*-діагностика

Кардіографічна діагностика ґрунтується на великій системі складно-визначених правил розпізнавання численних відхилень від нормальної серцевої діяльності, включаючи різного роду аритмії, асистолії і екстрасистолії, порушення нервової провідності (виражаються в *блокадах* окремих гілок *пучка Гіса*), фібриляції, тріпотіння і гіпертрофії передсердь і шлуночків, ішемії та інфаркти міокарда та ін. Ці правила зазвичай формулюються на якісно-кількісному рівні як співвідношення між амплітудами зубців *EKG* і їх формою в різних відведеннях з урахуванням положення електричної осі серця, відхилень у серцевому ритмі або в тривалості міжзубцових інтервалів, наявності аномальних сплесків активності і перекручень. Ситуація ускладнюється ще й тим, що одні й ті ж ознаки можуть викликатися різними захворюваннями. Тому основним засобом *EKG*-діагностики є візуальне вивчення *EKG* кардіологом, що вимагає тривалої практики для вироблення професійного навичку.

У цьому контексті основним завданням комп'ютерного аналізу *ЕКГ* є документування та обґрунтування формульованого лікарем висновку, що супроводжується обчисленням значень амплітудних, інтервальних і похідних показників, виявленням числових відхилень від норми, видачею графіків динаміки зміни окремих показників і статистичних закономірностей.

На *рис. 4.12* представлена таблиця, в якій темним кольором позначені параметри, що відрізняються від норми. Такі відомості дозволяють скоротити час візуального вивчення лікарем запису, концентруючи його увагу на конкретних деталях.

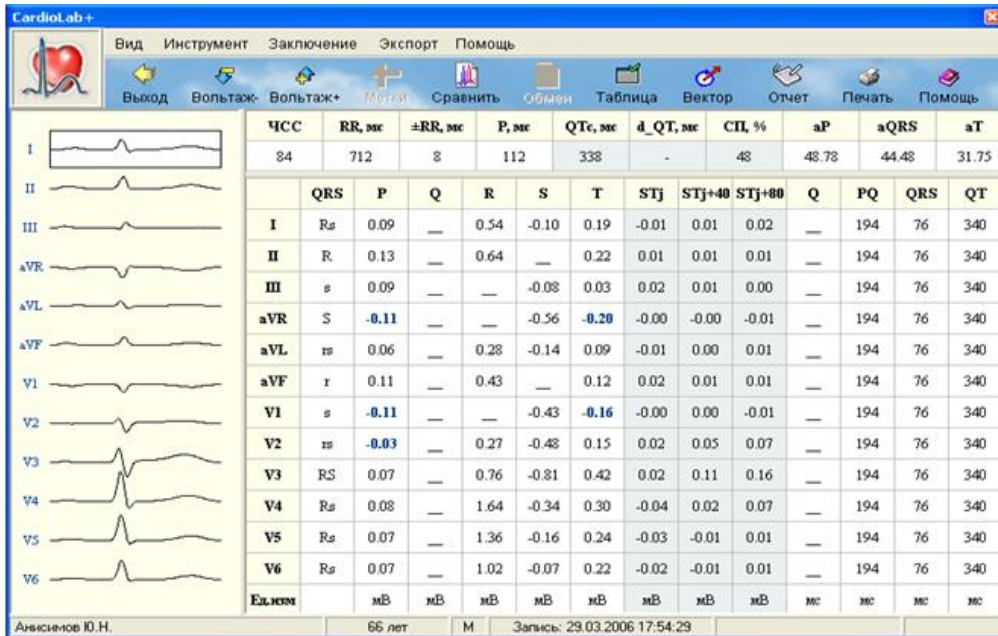


Рис. 4.12. Результати комп'ютерного аналізу *ЕКГ* за традиційною системою відведень

Подібні статистичні дані нерідко супроводжуються графіками тимчасової динаміки зміни окремих показників.

На *рис. 4.13* наведена типова форма видачі результатів клінічного обчислювального аналізу *ЕКГ*, в традиційній системі відведень.

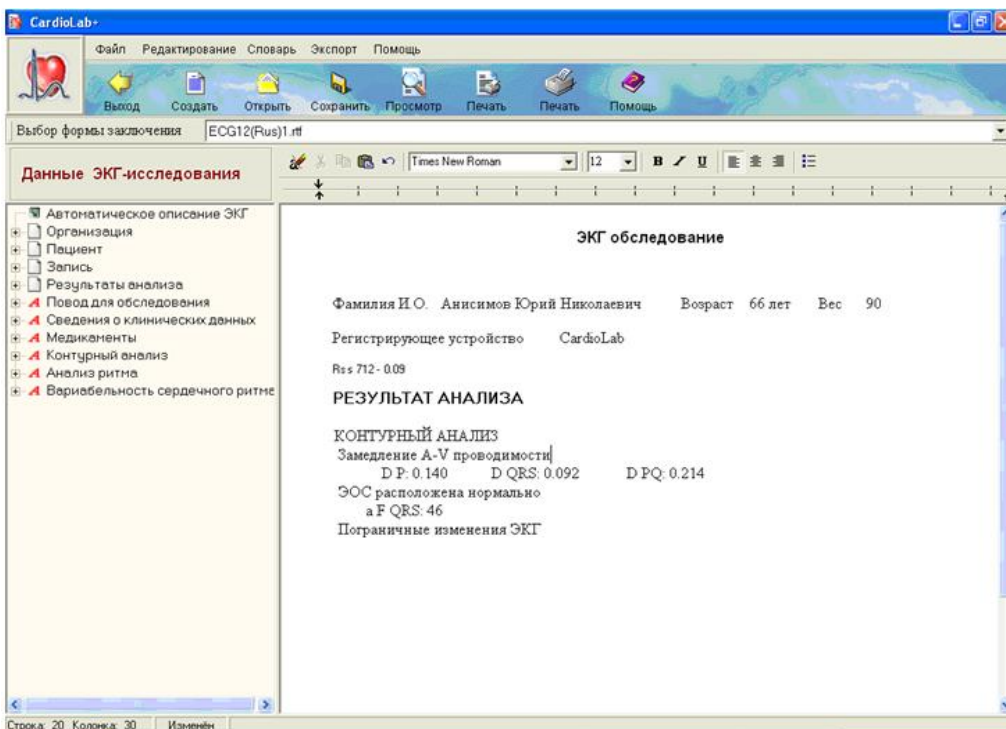


Рис. 4.13. Результати комп'ютерного аналізу *ЕКГ* за традиційною системою відведень



Рис. 4.14. Холтерівське моніторування

Холтерівський моніторинг

Тривале моніторування *ЕКГ* за Холтером передбачає багатогодинний одноканальний безперервний запис *ЕКГ* пацієнта, що перебуває у своїх звичайних життєвих умовах, і здійснюється портативним переносним реєстратором на магнітний носій. У зв'язку з великою тривалістю запису її подальше дослідження можливе тільки машинними методами. При цьому зазвичай будується графік інтервалограми, визначається кількість кардіоінтервалів, що виходять за встановлені межі тривалості, шукаються екстрасистолічні скорочення з підрахунком їх загальної кількості і класифікацією за формою (рис. 4.14).

Велоергометрія

Це дослідження динаміки серцевої діяльності при дозованому фізичному навантаженні, що здійснюється за допомогою велотренажера з регульованим рівнем зусилля, необхідного для крутіння педалей (рис. 4.15). У ході дослідження пред'являють кілька рівнів зростаючого навантаження протягом однієї або декількох хвилин кожна з реєстрацією *ЕКГ* і спірометрії. Для кожного рівня навантаження визначають середню частоту серцевих скорочень і середній обсяг вдихуваного повітря. Значення цих показників порівнюють з нормативними залежно від зросту, віку і статі пацієнта, на підставі чого формується медичний висновок.



Рис. 4.15. Велоергометричне дослідження

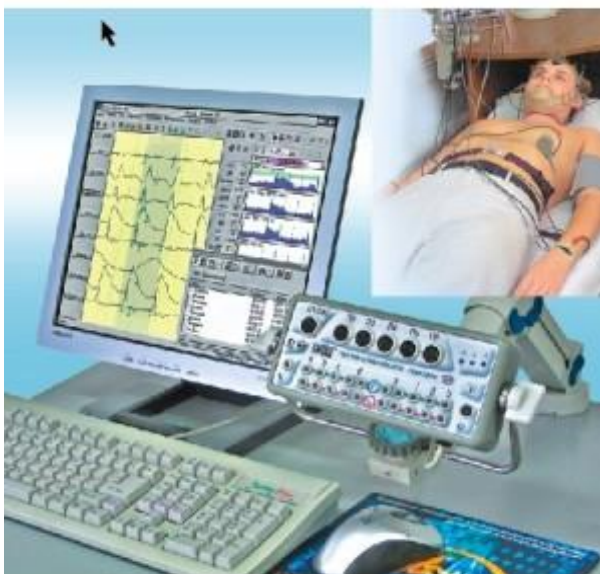


Рис. 4.16. Зняття реограми у пацієнта

Реографія

Реографія, або *імпедансна плетизмографія* – це безкровний метод дослідження загального і органного кровообігу, заснований на реєстрації коливань опору живої тканини організму змінному струму високої частоти (до 500 кГц і силою не більше 10 мА) (рис. 4.16). Зміна електропровідності тканин обумовлено пульсуючим артеріальним кровотоком на тлі майже постійного кровотоку в артеріолах, дрібних венах і капілярах. Застосування змінного струму певної частоти дає можливість виділити із загального електричного опору змінний компонент (дуже малий за величиною, становить 0,5–1%), пов'язаний з пульсовими коливаннями кровонаповнення. Зазвичай цей струм пропускається через ті ж електроди, які служать і для вимірювання (за винятком тетраполярної реографії).

Біофізика

Між змінами електричного опору ділянки тіла і пульсовими коливаннями об'єму крові існує суворо лінійна залежність. У момент появи в міжелектродному просторі систолічного об'єму крові електропровідність цієї зони збільшується, а опір падає. Спад пульсової хвилі і амплітуди реограми обумовлений зниженням електропровідності до часу діастолі. Коливання опору пов'язані не тільки з об'ємом крові, але і зі швидкістю її руху. Робить вплив на коливання опору скорочувальна здатність міокарда, діаметр і еластичність судин, умови венозного відтоку, фази дихання, величина і форма електродів. Реограма відображає сумарний опір всіх тканин, що знаходяться в міжелектродному просторі, у вигляді інтегральної кривої, у генезі якої провідна роль належить пульсовим коливанням кровонаповнення.

Діагностичні можливості

Метод реографії забезпечує можливість вивчення гемодинаміки будь-якого органу, доступного дослідженню, та ділянки кінцівки. Реографія дозволяє дати характеристику артеріального кровонаповнення, стану тонуусу артеріальних судин, венозного відтоку, білатерального кровообігу, мікроциркуляції, визначити величини ударного і хвилинного обсягів кровообігу. При синхронному запису *ЕКГ* і реограми аорти або легеневої артерії можна отримати інформацію про скорочувальну здатність ізолюваного міокарда лівого і правого шлуночків. Двоканальний запис реограми від симетрично розташованих електродів дозволяє судити про співвідношення (асиметрії) лівого і правого кровоносних шляхів.

Функціональні проби

Ці проби важливі в реографії, оскільки одні й ті ж зміни морфології реограми можуть бути як при органічних, так і при функціональних порушеннях. Знаходять застосування проби з фізичним навантаженням, дихальні (вдих, видих), температурні (холод, тепло), фармакологічні (нітрогліцерин, папаверин, еуфілін тощо) та ін. Амплітуда хвиль *РГ* змінюється з фазами дихання: під час вдиху збільшується, при видиху зменшується, що чітко відбивається на *РГ* аорти, легеневої артерії та печінки.

Морфологія реограми

Реограма будь-якої ділянки (крім серця) складається з анакрати (висхідної частини), вершини і катакрати (спадної частини), на якій розташовуються 1–3 додаткові хвилі (рис. 4.17).

Амплітуда систолічної хвилі відображає пульсовий приріст об'єму крові, інтенсивність артеріального кровонаповнення. Вершина реограми відповідає моменту, коли приплив крові дорівнює відтоку, тобто швидкість кровонаповнення дорівнює нулю. Низхідна частина реограми полого і характеризує венозний відтік. На *катакраті* може бути кілька додаткових хвиль, але одна з них найбільша і відповідає діастолічній хвилі периферичної сфігмограми. Систолічному підйому може передувати пресистолічна хвиля (її пов'язують зі скороченням передсердь), вид якої різниться – від невеликої зазубрини до добре вираженої хвилі, що дорівнює $1/4$ основної хвилі.

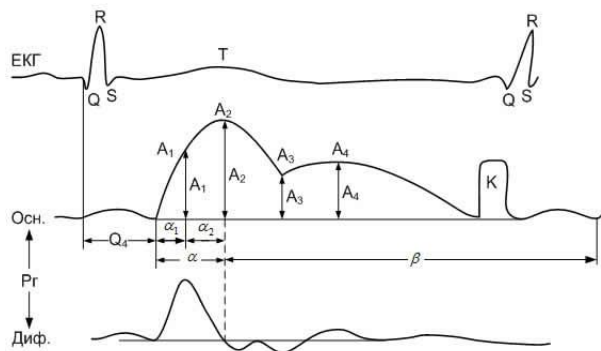


Рис. 4.17. Основні параметри об'ємної *РГ* на тлі *ЕКГ* (вгорі) і диференціальної *РГ* (внизу)

Розділи реографії

Залежно від розташування електродів виділяють центральну реографію (прекардіальна, реографія аорти і легеневої артерії) і органну (реоенцефалографія, реопатографія, реовазографія та ін.).

Прекардіальна реографія. При проведенні прекардіальної реографії, або реокардіографії (*РКГ*), активний електрод поміщають над верхівкою серця, а пасивний – в точці Боткіна, що дозволяє реєструвати зміну кровонаповнення камер серця. *РКГ* відображає динаміку серцевого скорочення і на ній є розпізнавальні точки, за якими визначається тривалість фаз серцевої систоли. Тимчасові показники *РКГ* є відображенням фазової структури серцевого скорочення.

Реографія аорти і легеневої артерії, або реопульмонографія (*РПГ*), використовується для фазового аналізу систоли правого і лівого шлуночків серця, що дозволяють оцінити скоротливу функцію міокарда, а також для оцінки гемодинаміки малого кола кровообігу.

Реоенцефалографія. При дослідженні реоенцефалограми (РЕГ) найбільш часто використовуються фронтостойдальні (FM) і мастоїдно-окципітальні (MO) відведення, що відображають процеси в лобному (басейн внутрішньої сонної артерії) і потиличному (вертебробазилярна система) відділах кровопостачання головного мозку. Круглі електроди зазвичай фіксуються на голові гумовими стрічками.

Між потоками крові, які надходять по парним внутрішнім сонним артеріям і по вертебробазилярній системі, є гемодинамічна рівновага. Вступаючи до артеріального кола, кров не змішується, а потрапляє в судини відповідної сторони. Потоки крові, що надходять з хребетних артерій в основну (базилярну), розподіляються кожен в однойменній половині мозкового стовбура, що дає можливість досліджувати гемодинаміку в басейні кожної хребетної артерії.

Артеріальне коло великого мозку є постійно діючою системою анастомозів, які забезпечують колатеральний кровообіг в обох півкулях. Важливою особливістю є підтримка мозкового кровотоку на постійному рівні навіть при зміні артеріального тиску.

З усіх боків мозок у замкнутій порожнині черепа оточений нестискуваним ліквором – спинномозковою рідиною, загальний обсяг якої у дорослої людини складає 150–200 мл. Ця рідина визначає внутрішньочерепний тиск і оберігає мозок від механічних впливів. Розширення судин мозку веде до збільшення об'єму крові і підвищення внутрішньочерепного тиску, при звуженні ж судин внутрішньочерепний тиск знижується. Відтік крові з порожнини черепа здійснюється по розвиненій венозній системі, в якій є венозні пазухи і синуси, однак клапани відсутні. Швидкий відтік крові забезпечується наявністю венозних сплетінь навколо хребта.

Таким чином, мозковий кровообіг відрізняється від кровопостачання інших органів великою інтенсивністю, сталістю, різноманітністю шляхів відтоку і тісним зв'язком з ліквором. Всі ці особливості оберігають головний мозок від згубної нестачі кисню.

Реогепатографія. При реєстрації реогепатограми (РГГ) активний електрод поміщають на правій середньоключичній лінії на рівні реберної дуги, а пасивний електрод – на рівні нижньої межі правої легені між хребтом і задньопахвовою лінією, що дозволяє реєструвати кровонаповнення в басейні печінкової артерії і ворітної вени.

Реовазографія. Реовазограму (РВГ) реєструють в багатоканальному записі з різних ділянок верхніх (плечі, передпліччя, кисті, пальці) і нижніх (стегна, гомілки, стопи, пальці) кінцівок.

РВГ застосовують для визначення інтенсивності периферичного кровообігу, стану судинного тонуусу, ступеня розвитку білатерального кровообігу. Використання функціональної РВГ дозволяє виявити неспроможність клапанів поверхневих і глибоких вен нижніх кінцівок. У результаті комп'ютерного аналізу РВГ отримані графіки, що відображають відхилення параметрів від норми (рис. 4.18).

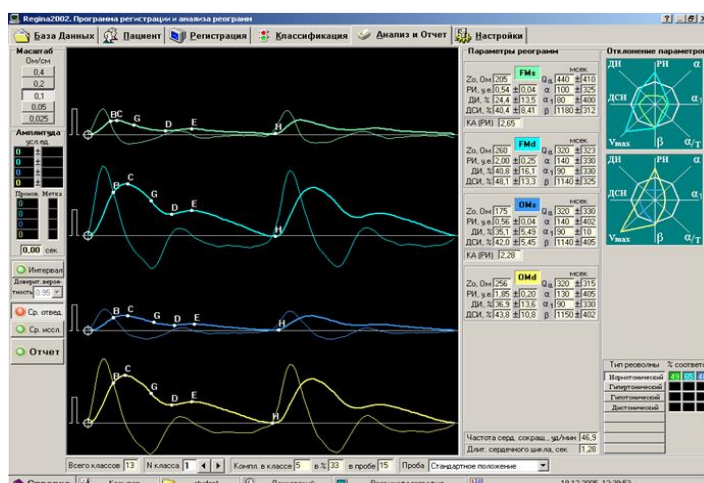


Рис. 4.18. Вікно програми «Реєстрація та аналіз реограм»

Тетраполярна реографія. Тетраполярна трансторакальна реокардіографія (ТРГ) за методами Кубичека і Тищенко є неінвазивним методом непрямого визначення основних гемодинамічних показників: ударний об'єм серця, хвилинний обсяг кровотоку, серцевий індекс та ін.

Показники

Чисельний аналіз реозаписів дозволяє уточнити характер змін, визначених візуально, і виявити цілий ряд додаткових особливостей у досліджуваній ділянці. При кількісному аналізі реограм зазвичай використовують такі показники.

- **Реографічний індекс (PI)** є найважливішим показником, що дозволяє визначити відносну величину пульсового кровонаповнення в досліджуваній ділянці. Він являє собою амплітуду систолічної хвилі A_2 , виміряну в Омх від основи систолічної хвилі до вищої точки реограми. Існує чітка тенденція: чим більше величина пульсового кровонаповнення в якій-небудь ділянці судинного русла, тим вище там амплітуда реографічних хвиль, і навпаки.

- **Амплітудно-частотний показник (АЧП)** представляє відношення PI до тривалості серцевого циклу в секундах і характеризує величину об'ємного кровотоку досліджуваної ділянки за одиницю часу.

- **Амплітуда діастолічної хвилі (A_4)** в Омх відображає співвідношення артеріального і венозного кровотоку. У молодому віці в умовах високої еластичності артеріального русла вона являє собою переважно хвилю відображення пульсової хвилі від найдрібніших артерій і артеріол.

• *Амплітуда інцизури (A_3)* залежить від багатьох чинників: ригідність артеріальної стінки, адекватність обсягу регіональної фракції серцевого викиду і просвіту артерій. При високому ступені еластичності артерій, при явищах низького тонусу інцизура глибока і її амплітуда низька.

• *Час розповсюдження РВ (Qa)* вимірюється від зубця Q , *ЕКГ* до початку систолічної хвилі. Цей показник характеризує сумарний тонічний стан судин (модуль пружності) від серця до досліджуваної ділянки: при підвищенні судинного тонусу або при склерозі магістральних судин він може істотно зменшуватися, а при зниженні тонусу – дещо збільшуватися.

• *Час магістрального систолічного наповнення судин (α)* являє собою інтервал від початку підйому *РГ* до її вершини в секундах або ж у відсотках від *RR*-інтервалу і характеризує тонус і еластичність судин. Цей час відображає період повного розкриття судини і стан судинної стінки: чим податливішою, еластичнішою є судинна стінка, тим швидше розкривається вона під дією крові, яка припливає.

• *Час швидкого кровонаповнення (α_1)* являє собою інтервал від початку підйому *РГ* до піку диференціальної кривої (у секундах або відсотках від *RR*) і пов'язаний безпосередньо із серцевою діяльністю: його тривалість обумовлюється ударним об'ємом серця і прямо залежить від модуля пружності стінок великих судин досліджуваної ділянки (від стану тонусу великих судин).

• *Час повільного кровонаповнення ($\alpha_2 = \alpha - \alpha_1$)* виражається в секундах або відсотках від *RR*. Його величина значно меншою мірою залежить від серцевих факторів і більше визначається тонічними властивостями судинної стінки. У нормі обидва періоди кровонаповнення приблизно рівні між собою, а при підвищенні тонусу і зниженні еластичності судинної стінки відбувається зміна цього співвідношення у бік збільшення часу повільного кровонаповнення.

• *Максимальна швидкість швидкого наповнення $V_{max} = A_1 / \alpha_1$* представляє відношення амплітуди швидкого наповнення до тривалості цього періоду, характеризує стан скорочувальної функції міокарда та швидкість кровонаповнення великих артеріальних судин.

• *Середня швидкість повільного наповнення $V_{cp} = (A_2 - A_1) / \alpha_2$* представляє відношення амплітуди повільного наповнення до тривалості цього періоду і відображає наповнення середніх і дрібних артерій органу.

• *Дикротичний індекс $A_3/A_2 \cdot 100\%$* являє собою відношення амплітуди інцизури до висоти систолічної хвилі і відображає переважно тонус артеріол. Його значення в нормі коливається від 40 до 70 % і залежить від периферичного судинного опору.

• *Діастолічний індекс $A_4/A_2 \cdot 100\%$* являє собою відношення висоти діастолічної хвилі до висоти систолічної хвилі і відображає переважно стан відтоку крові з артерій у вени і тонус вен.

Обчислені значення *РГ*-показників видаються у вигляді таблиці із зазначенням їх статистично середніх значень, стандартних відхилень і відхилень від меж клінічної норми, які залежать від віку і статі пацієнта. У разі реоенцефалограми і реовазограм зазвичай роблять двоканальний запис *РГ* від лівих і правих відведень, тому в таблиці видають два ряди значень показників з додатковою колонкою асиметрії між відведеннями і відмітками виходу її значень за межі норми.

Міографія, спірографія та поліграфія

У даному розділі розглядаються показники, при дослідженні яких в основному використовуються засоби ручного вимірювання різних візуально детектуємих на записі структурних складових: амплітуда піків, латентність, тимчасові інтервали, діапазони зміни сигналу, швидкості зростання та зменшення сигналу, сумарна потужність сигналу на заданому часовому інтервалі (площа під кривою з урахуванням знаку сигналу або ж її абсолютне значення) та ін. До таких показників відносяться електроміограма (*ЕМГ*), шкірно-гальванічна реакція (*ШГР*), окулограма, спірограма та їм подібні. Під поліграфією ж у загальному сенсі розуміється спільне дослідження різномірних електрофізіологічних показників.

Шкірно-гальванічна реакція, що розглядається як один із різновидів електродермальних реакцій, являє собою зміну шкірного опору у відповідь на різні емоційні реакції, які відбуваються в результаті зміни діяльності потових залоз, що виявляється у розкритті або звуженні їх вихідних каналів. Основне практичне застосування цей показник знайшов у так званих поліграфіях, або «детекторах брехні», в сукупності з вимірюванням інших електрофізіологічних показників: *ЕЕГ*, *ЕКГ*, пульс, дихання та ін. *ШГР*-відповіді на різні стимули, що несуть для конкретного індивідуума емоційне забарвлення, проявляються як досить різкі, але повільноволнові і затухаючі коливання – сплески (зазвичай біполярні) на тлі середнього рівня (*рис. 4.19*). Дослідника зазвичай цікавить частота і латентність цих сплесків щодо стимулу і його модальності, а також їх амплітуда і властивості потужності (площа, швидкість наростання і спаду та ін.).

У прикладних дослідженнях ШГР найбільш важливою є робота психолога для складання опитувальника, орієнтованого на конкретне соціальне середовище і конкретно поставлені цілі дослідження з таким чергуванням значущих, контрольних і нейтральних питань, щоб перші викликали: а) обумовлену реакцію; б) високодостовірну реакцію; в) реакцію саме на брехню; г) реакцію тільки необхідної емоційної модальності.

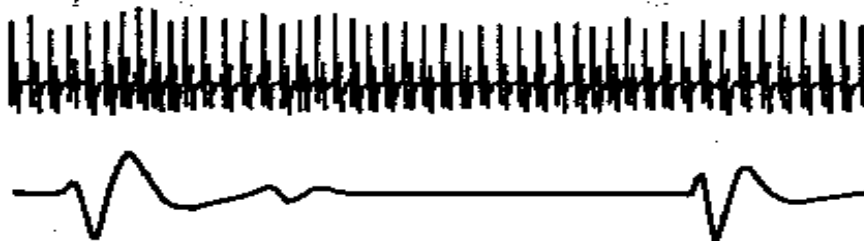


Рис. 4.19. ШГР з двома високоамплітудними реакціями (внизу) з паралельним записом ЕКГ (вгорі)

Електроокулограма (ЕОГ) являє собою рух очей, що реєструється електродами, розташованими на очних м'язах. Самостійного значення цей показник, як правило, не має і використовується спільно з іншими показниками, наприклад, при дослідженні викликаних потенціалів на зоровий стимул або ж для видалення артефактів з *ЕЕГ*. Дослідника в цих аспектах цікавить амплітуда і напрям *ЕОГ*, а також латентності щодо стимулу.

Термін **електронейроміографія (ЕНМГ)** використовується для позначення методики вивчення викликаних потенціалів м'язів (стимуляційна електроміографія) і нерва (стимуляційна електронейрографія) і включає:

- реєстрацію і аналіз параметрів *ВП* м'язів і нерва (латентний період, форма, амплітуда і тривалість *ВП*);
- визначення числа функціонуючих рухових одиниць (*РО*);
- визначення швидкостей проведення імпульсу (*ШП*) по рухомим і чутливим волокнам периферичних нервів;
- підрахунок мотосенсорного і краніокаудального коефіцієнтів, коефіцієнтів асиметрії і відхилень від норми.

Нестимуляційна міографія, або проста *електроміографія (ЕМГ)*, на відміну від цього досліджує не процес іннервації м'язів, а саму м'язову активність за такими двома напрямками:

- дослідження природної активності груп м'язів у поверхневих відведеннях у спокої і при навантаженні;
- дослідження природної активності окремих м'язових волокон при внутрішньом'язових відведеннях голчастими електродами.

Спірографія передбачає вимірювання і аналіз легеневих параметрів (рис. 4.20): дихальний об'єм (*ДО*); резервний об'єм вдишу (*РОвд*); резервний об'єм видиху (*РОвид*); ємність вдишу (*Євд*); життєва ємність легень (*ЖЄЛ*); функціональна залишкова ємність (*ФЗЄ*); залишковий об'єм (*ЗО*); загальна ємність легень (*ЗЄЛ*).

Наведений метод використовується як в клінічній, так і в дослідницькій практиці в наступних процедурах:

- діагностика передбачуваної легеневої патології, наприклад, для виявлення внутрішньо- і позагрудного обмеження повітряного потоку або рестриктивних вентиляційних порушень;
- лікування хворих з легеневиими захворюваннями для оцінки терапевтичного ефекту елімінації алергенів, ефективності лікарської терапії або при проведенні складних діагностичних процедур;

- прогнозування, що ґрунтується на тяжкості і ступені респіраторних порушень, ефективності терапевтичних заходів або швидкості погіршення показників за певний період часу;

- проведення передопераційних досліджень для оцінки ступеня респіраторних ускладнень і передопераційної корекції стану пацієнта;

- оцінка ступеня легеневої недостатності;

- скринінговий моніторинг стану респіраторної системи у населення при епідеміологічних та професійних захворюваннях.

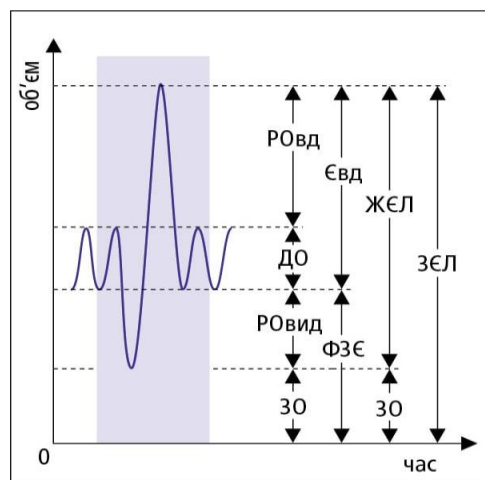


Рис. 4.20. Ємності і об'єми легень

Питання, винесені на семінар

1. Перерахувати основні групи технічних пристроїв, що використовуються в медичній діагностиці.
2. Охарактеризувати основні компоненти діагностичних АПК.
3. Види шумів і їх вплив на визначення вимірюваних параметрів.
4. Основні категорії електрофізіологічних показників.
5. Види біоелектричних показників прямого і непрямого вимірювань.
6. Види біоелектричних показників перетворювального вимірювання.
7. Перерахувати основні етапи комп'ютерного функціонального дослідження.
8. Види досліджень, що проводяться за допомогою МАПК.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Апаратно-програмні комплекси можуть виконувати:
 - A. Функціональну діагностику.
 - B. Тільки перетворення та обчислювальний аналіз зареєстрованих даних.
 - C. Тільки знімання та збереження показників вимірювального приладу.
 - D. Тільки представлення та вивід отриманих результатів в числовій, графічній або текстовій формах.
 - E. Тільки застосування робіт вимірювального приладу та пристроїв, супутніх з ним.
2. Показник функціональної діагностики непрямого електровимірювання, який являє собою зміну опору ділянок тіла змінному току залежно від кровонаповнення, реєструється при зніманні:
 - A. Електрокардіограми.
 - B. Реограми.
 - C. Спірограми .
 - D. Фонокардіограми.
 - E. Шкірно-гальванічної реакції.
3. Вихідні матеріали для функціональної діагностики – це:
 - A. Електрофізіологічні показники, які характеризують стан пацієнта та роботу його окремих органів та систем життєдіяльності.
 - B. Виключно показники непрямого електровимірювання.
 - C. Показники перетворюючого вимірювання механічного походження, які у виняткових випадках вимагають попереднього перетворення в електричний сигнал за допомогою електродів.
 - D. Паспортні дані пацієнта.
 - E. Виключно показники прямого вимірювання.
4. Підсилювач виконує:
 - A. Видалення мережних наводок у діапазоні 30–100 Гц.
 - B. Виключно підсилення низькоамплітудних біосигналів.
 - C. Видалення наводок на частотах, вищих за 100 Гц.
 - D. Підсилення низькочастотних сигналів, фільтрацію сигналів в заданій полосі пропускання, видалення мережної наводки на частоті 50 Гц.
 - E. Виключно фільтрацію сигналів у заданій полосі пропускання з видаленням низькочастотних складових.
5. Виконуючі пристрої призначені для:
 - A. Підсилення низькоамплітудних біосигналів.
 - B. Вводу в комп'ютер із заданою частотою повторень сигналів у цифровій формі.
 - C. Перетворення вхідних аналогових сигналів у цифрову форму.
 - D. Виконання різних впливів на пацієнта терапевтичного та тестуючого характеру.
 - E. Фільтрації сигналів у заданій полосі пропускання.
6. Апаратно-програмні комплекси за конструктивним втіленням можуть бути:
 - A. Стаціонарні, мобільні, автономні.
 - B. Дослідницькі та клінічні.
 - C. Реєструючі та обчислювальні.
 - D. Виключно мобільні та дослідницькі.
 - E. Виключно автономні та клінічні.
7. До складу сучасного електрофізіологічного апаратно-програмного комплексу не входять:
 - A. Аналого-цифровий перетворювач.
 - B. Підсилювачі.
 - C. Генератор.
 - D. Електроди.
 - E. Комп'ютер.

ТЕМА 5

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТЕЙ

Основні поняття та найважливіші формули теорії ймовірностей

У багатьох галузях людської діяльності існують ситуації, коли певні явища можуть повторюватися необмежену кількість разів в однакових умовах. Аналізуючи послідовно результати таких найпростіших явищ, як підкидання монети, гральної кістки, викид карти з колоди і т. п., ми помічаємо дві особливості, що властиві такого роду експериментам. По-перше, неможливо передбачити результат подальшого експерименту за результатами попередніх, якою б не було великою кількістю проведених випробувань. По-друге, відносна частота певних результатів у міру зростання кількості випробувань стабілізується, наближаючись до певної межі.

Теорія ймовірностей вивчає закономірності, що виникають у *випадкових експериментах*. Випадковим називають експеримент, результат якого не можна передбачити заздалегідь. Неможливість передбачити результат відрізняє випадкове явище від детермінованого.

У теорії ймовірностей розглядаються *випадкові події*. *Випадковою* називається подія, яка може відбутися або не відбутися при виконанні певного комплексу умов. Наприклад, при киданні грального кубика може відбутися така подія, як випадіння на його верхній грані трьох точок, але ця подія може і не відбутися.

Випробуванням називається реалізація певного комплексу умов, за яких може відбутись будь-яка подія. Випробування може відтворюватися необмежену кількість разів. При цьому комплекс умов включає в себе випадкові чинники.

Наслідком випробування називається поява в результаті цього випробування якої-небудь випадкової події. Якщо в результаті випробування відбувається подія, що нас цікавить, кажуть про сприятливий наслідок випробування. Якщо ж ця подія не відбувається, наслідок називають несприятливим.

Події бувають різні, а саме: *достовірна* – це подія, яка в результаті випробування неодмінно відбудеться; *неможлива* – подія, яка в даному випробуванні не може відбутись; *елементарна* – подія, яку неможна розкласти на більш прості; *можлива елементарна подія* – це кожний із можливих результатів окремого випробування.

Простір елементарних подій – це множина можливих елементарних подій, кожною з яких може закінчитись випробування. Якщо позначимо ω_i ($i = 1, 2, \dots, n$) можливі елементарні події, то цю множину можна записати у вигляді $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$. Простір Ω може містити скінченну, зліченну або незліченну множину значень.

Випадковим подіям властиві закономірності, що виявляються при багаторазових (масових) випробуваннях. Для кількісного опису цих закономірностей використовується поняття *відносної частоти події*. Нехай відбулося n випробувань та виявилось, що число сприятливих наслідків дорівнює m (подія A виникла m раз у n випробуваннях). Тоді **відносна частота події A ($P^*(A)$) – це відношення числа сприятливих наслідків до повного числа випробувань n , тобто**

$$P^*(A) = \frac{m}{n}.$$

Враховуючи, що $0 \leq m \leq n$, для відносної частоти випадкової події запишемо: $0 \leq P^*(A) \leq 1$.

Якщо провести кілька серій з невеликого числа випробувань, то найчастіше виявиться, що відносна частота в різних серіях приймає різні значення, які можливо дуже відрізняються одне від одного. Але якщо збільшувати число випробувань у серіях, то найчастіше значення величини $P^*(A)$ у кожній із серій виявлятимуться все ближчими одне до одного. Таким чином, із збільшенням кількості випробувань у серії випробувань відносна частота випадкової події прямує до деякої границі, яка називається *ймовірністю випадкової події $P(A)$* , тобто

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} P^*(A).$$

Остання формула є *статистичним визначенням ймовірності*. Таким чином, відповідно до статистичного визначення, **ймовірність випадкової події – це границя, до якої прямує відносна частота цієї події при необмеженому збільшенні числа випробувань.**

Ймовірність випадкової події – найважливіша її кількісна характеристика, яка є мірою можливості реалізації випадкової події при випробуваннях.

При практичному використанні статистичного визначення ймовірності найскладнішим є питання про те, яка найменша кількість випробувань необхідна, аби значення відносної частоти випадкової події можна було прийняти як значення ймовірності, тобто щоб була забезпечена потрібна точність визначення $P(A)$.

Наступним важливим поняттям є поняття *рівноможливих наслідків*. **Якщо в результаті випробування можлива поява різних наслідків, причому немає підстав вважати, що якийсь з цих наслідків може з'являтися частіше або рідше за інші, то ці наслідки називають рівноможливими.** Наприклад, при киданні грального кубика немає підстав вважати, що поява зверху якоїсь конкретної грані відбуватиметься частіше або рідше за появу будь-якої іншої грані, тобто поява зверху будь-якої із граней грального кубика є рівноможливим наслідком.

Якщо всі наслідки, які можуть з'являтися при випробуванні є рівноможливими, то для визначення ймовірності події можна використовувати *класичне визначення ймовірності*.

Відповідно до класичного визначення, **ймовірність випадкової події – це відношення числа сприятливих наслідків до повного числа всіх рівноможливих наслідків**, тобто

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

де $P(A)$ – ймовірність випадкової події A ; m – число сприятливих наслідків; n – повне число всіх рівноможливих наслідків.

Зважаючи на те, що ймовірність достовірної події дорівнює одиниці ($P(A) = 1$), тобто всі результати випробування є придатними, а ймовірність неможливої події дорівнює нулю ($P(A) = 0$), тоді **ймовірність випадкової події є позитивне число** та належить інтервалу:

$$0 \leq P(A) \leq 1.$$

Підбиваючи підсумки щодо поняття ймовірності виведемо аксіоматичне означення ймовірностей. У системі аксіом, запропонованій А. Колмогоровим, невизначеним є поняття елементарної події і ймовірність. Наведемо аксіоми, які визначають ймовірність:

- Кожній події поставлено у відповідність невід'ємне дійсне число $P(A)$. Це число називається ймовірністю події A .

- Ймовірність достовірної події дорівнює 1.
- Ймовірність настання хоча б однієї події дорівнює сумі ймовірностей подій.

Розглянемо ще один варіант визначення комбінацій. Нехай скінченна невпорядкована множина складається з n елементів. Очікувані нами події можуть відбутись m разів. Якщо розбити множину на невпорядковані підмножини, які містять по m ($m < n$) елементів і різняться принаймні одним елементом, тоді елементарною подією буде:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Наведені при визначенні поняття ймовірності формули використовуються тільки при розгляді простих випадкових подій. У складніших випадках необхідно використовувати теореми додавання та (або) множення ймовірностей. Перш ніж вивчати ці теореми, введемо ще деякі поняття. **Події A та B називаються несумісними, якщо поява події A виключає можливість появи події B .** Наприклад, поява двох або трьох точок на верхній грані грального кубика при його одноразовому киданні є несумісними подіями, оскільки можливе випадіння двох або трьох точок при різних випробуваннях, але неможливе їхнє одночасне випадіння при одноразовому киданні одного кубика.

Група несумісних подій $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, в якій в результаті випробування обов'язково відбувається одна з цих подій та не може відбутися ніяка інша подія, має назву *повна група подій*.

Якщо в повній групі *несумісних подій тільки дві* і якщо при випробуванні не відбулася одна з них, випливає факт, що при цьому обов'язково відбулася інша, то такі події є *протилежними*.

Події A та B називаються незалежними, якщо ймовірність однієї з них не залежить від того, відбулася чи не відбулася інша. Наприклад, при народженні другої дитини в родині неважливо якої статі перша дитина. **Події A та B називаються залежними, якщо ймовірність однієї з них залежить від того, відбулася чи не відбулася інша.** При цьому, якщо ймовірність події B залежить від того, відбулася чи не відбулася подія A , кажуть про *умовну ймовірність* події B , і для цієї ймовірності використовується позначення $P(B/A)$.

Для кращого розуміння терміну «умовна ймовірність» розглянемо такий приклад. В ящику 5 м'ячів (3 червоних та 2 синіх). Нам потрібно витягнути два м'ячі різних кольорів. Якщо ми витягнули м'яч червоного кольору і назад його не повертаємо, то це впливає на ймовірність витягнути другим синій м'яч.

Тепер, після того, як необхідні поняття сформульовані, розглянемо теореми додавання та множення ймовірностей.

Теорема додавання ймовірностей справедлива тільки для несумісних подій.

Якщо є кілька несумісних подій A_1, A_2, \dots, A_n , то ймовірність складної події, яка полягає в тому, що відбудеться одна з цих подій (тобто відбудеться або подія A_1 , або подія A_2, \dots або подія A_n), дорівнює сумі ймовірностей цих подій, тобто

$$P(A_1 \text{ або } A_2 \dots \text{ або } A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n).$$

З теореми додавання ймовірностей випливають важливі наслідки:

1. Якщо несумісні події A_1, A_2, \dots, A_n утворюють повну групу подій, то $P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n) = 1$.
2. Якщо події A та B є протилежними, то $P(A) + P(B) = 1$ або $P(A) = 1 - P(B)$.

Теорема додавання ймовірностей справедлива для незалежних і залежних подій.

Теорему множення ймовірностей сформулюємо спочатку для незалежних подій. *Якщо події A_1, A_2, \dots, A_n – незалежні, то ймовірність складної події, яка полягає в тому, що відбудуться всі ці події (тобто відбудеться і подія A_1 , і подія A_2, \dots і подія A_n), дорівнює добутку ймовірностей цих подій, тобто:*

$$P(A_1 \text{ і } A_2 \dots \text{ і } A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n).$$

Теорему множення ймовірностей для залежних подій спочатку сформулюємо для двох подій. *Якщо події A_1 та A_2 – залежні, то ймовірність складної події, яка полягає в тому, що відбудуться всі ці події (і подія A_1 , і подія A_2), дорівнює добутку ймовірності однієї з цих подій на умовну ймовірність іншої, тобто:*

$$P(A_1 \text{ і } A_2) = P(A_1) \cdot P(A_2/A_1) = P(A_2) \cdot P(A_1/A_2).$$

Теорема множення ймовірностей для залежних подій аналогічно записується для будь-якого числа подій. Наприклад, для трьох подій відповідна формула має вигляд:

$$P(A_1 \text{ і } A_2 \text{ і } A_3) = P(A_1) \cdot P(A_2/A_1) \cdot P(A_3/(A_1 \text{ і } A_2)).$$

З теорем додавання та множення ймовірностей виводиться кілька важливих формул: *формула Бернуллі, формула повної ймовірності, формула Байєса.*

Формула Бернуллі використовується у випадку, якщо наслідком випробування може бути поява однієї з двох протилежних подій. Нехай ймовірність однієї з них дорівнює p , а ймовірність другої дорівнює q , причому $q = 1 - p$. Якщо у цьому випадку проводиться n випробувань, причому ймовірність появи першої події при кожному наступному випробуванні не залежить від того, яка з цих двох подій відбулася у попередніх випробуваннях, то ймовірність того, що перша подія при цьому відбудеться m раз ($P(m \text{ з } n)$), може бути знайдена за формулою Бернуллі:

$$P(m \text{ з } n) = \frac{n!}{m!(n-m)!} \cdot p^m \cdot q^{n-m},$$

де $n! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n$. Нагадаємо, що $0! = 1$.

Формули повної ймовірності та Байєса використовуються у випадках, якщо подія A може відбуватися тільки разом з однією із несумісних подій B_i ($i = 1, 2, \dots, n$), які утворюють повну групу подій. Нехай ймовірність події B_i дорівнює $P(B_i)$, а ймовірність події A за умови, що відбулася подія B_i , дорівнює $P(A/B_i)$. Тоді безумовна ймовірність події A може бути знайдена за формулою повної ймовірності:

$$P(A) = P(A/B_1) \cdot P(B_1) + P(A/B_2) \cdot P(B_2) + \dots + P(A/B_n) \cdot P(B_n) = \sum_{i=1}^n P(A/B_i) \cdot P(B_i).$$

Нехай тепер $P(B_j/A)$ – це ймовірність події B_j за умови, що подія A вже відбулася. Тоді ця ймовірність може бути знайдена за формулою Байєса:

$$P(B_j/A) = \frac{P(A/B_j) \cdot P(B_j)}{P(A)} = \frac{P(A/B_j) \cdot P(B_j)}{\sum_{i=1}^n P(A/B_i) \cdot P(B_i)}$$

Зазначимо, що при застосуванні формули Байєса, ймовірності $P(B_i)$ називають апіорними, а ймовірності $P(B_j/A)$ – апостеріорними.

Розглянемо деякі приклади розв'язання задач.

Приклад 1. Партія складається з 10 стандартних і 5 нестандартних еспандерів. Із партії навмання беруть 5 еспандерів. Знайти ймовірність того, що серед взятих еспандерів 3 виявились стандартними.

Розрахуємо загальну кількість елементарних подій:

$$n = C_c^n = C_{15}^5 = \frac{15!}{5! \cdot 10!} = \frac{360360}{120} = 3003.$$

Для обчислення кількості елементарних подій, які встановлюють подію, що шукаємо, треба щоб було 3 стандартних еспандера з 10 і 2 нестандартних – з 5. Тому

$$m = C_{10}^3 \cdot C_5^2 = \frac{10!}{3! \cdot 7!} \cdot \frac{5!}{2! \cdot 3!} = 120 \cdot 1 = 1200.$$

$$P(A) = \frac{1200}{3003} \approx 0,4.$$

Приклад 2. У ящику 10 куль, серед яких є кулі білого, чорного та зеленого кольору. З ящика, не дивлячись, дістають одну кулю. Ймовірність того, що ця куля біла ($P(б)$), дорівнює 0,3, а ймовірність того, що вона зелена ($P(з)$), дорівнює 0,2. Скільки у ящику чорних куль?

Нехай m – шукане число чорних куль, а $P(ч)$ – ймовірність того, що вийнята куля – чорна. Тоді $P(ч) = \frac{m}{10}$. З іншого боку, події, які полягають в тому, що вийнята куля є білою, чорною або зеленою, утворюють повну групу несумісних подій.

Тому $P(б) + P(ч) + P(з) = 1$ або $P(ч) = 1 - P(б) - P(з) = 1 - 0,3 - 0,2 = 0,5$.

Тоді $\frac{m}{10} = 0,5$ та $m = 10 \cdot 0,5 = 5$.

Приклад 3. Стрілець при одному пострілі влучає у десятку з ймовірністю 0,8. Визначити ймовірність семи влучень у серії з десяти пострілів.

За формулою Бернуллі: $m = 7; n = 10; p = 0,8; q = 1 - 0,8 = 0,2$.

Отже, $P(7 з 10) = \frac{10!}{7! \cdot 3!} \cdot (0,8)^7 \cdot (0,2)^3 \approx 0,2$.

Приклад 4. Чотири заводи випускають однакові м'ячі, причому їхні продуктивності за рік становлять: I завод – 500 шт., II завод – 1000 шт., III завод – 200 шт., IV завод – 1000 шт. Відомо, що ймовірність випуску бракованого м'яча становить: на I заводі – 0,01, на II заводі – 0,01, на III заводі – 0,005, на IV заводі – 0,004. Визначити ймовірність того, що навмання обраний з річної продукції цих заводів м'яч є бракованим.

Позначимо подію, яка полягає в тому, що виріб випущений I заводом – B_1 , II заводом – B_2 , III заводом – B_3 , IV заводом – B_4 . Тоді

$$P(B_1) = \frac{500}{500+1000+200+1000} = \frac{500}{2700} = \frac{5}{27};$$

$$P(B_2) = \frac{1000}{2700} = \frac{10}{27}; P(B_3) = \frac{2}{27}; P(B_4) = \frac{10}{27}.$$

Позначимо подію, яка полягає в тому, що м'яч є бракованим, A . За умовою $P(A/B_1) = 0,01$; $P(A/B_2) = 0,01$; $P(A/B_3) = 0,005$; $P(A/B_4) = 0,004$. Тоді за формулою повної ймовірності:

$$P(A) = \sum_{i=1}^4 P(A/B_i) \times P(B_i) = \frac{5}{27} \cdot 0,01 + \frac{10}{27} \cdot 0,01 + \frac{2}{27} \cdot 0,005 + \frac{10}{27} \cdot 0,004 = \frac{1}{135}.$$

Питання, винесені на семінар

1. Випадкова подія, випробування, наслідки випробування: сприятливий та несприятливий.
2. Статистичне визначення імовірності, формула обчислення; класичне визначення ймовірності, формула обчислення.
3. Теорема додавання ймовірностей для несумісних подій; повна група подій, протилежні події.
4. Теорема множення ймовірностей у випадку залежних та незалежних подій.
5. Формула Бернуллі та умови її застосування.
6. Формули повної ймовірності та Байєса, умови їх застосування.

Тестові завдання для самоконтролю

1. З 100 ампул з вітаміном «В₁₂» 25 ампул виявилися браковані. Визначити ймовірність того, що навмання взята ампула – бракована.

- A. 1/25. B. 1/20. C. 1/4. D. 1/5. E. 0,05.

2. У формулі повної ймовірності $P(A) = \sum_{i=1}^n P(B_i) \cdot P(A/B_i)$, величина $P(A/B_i)$ – це:

- A. Безумовна ймовірність події (A).
B. Ймовірність однієї з подій (B_i).
C. Ймовірність того, що подія (A) відбудеться кілька разів.
D. Ймовірність події (A) за умови, що відбулася одна з подій (B_i).
E. Ймовірність однієї з подій (B_i) за умови, що відбулася подія (A).

3. Ймовірність одночасної появи двох незалежних подій дорівнює:

- A. Сумі їх імовірностей.
B. Різниця їх імовірностей.
C. Добутку їх імовірностей.
D. Ймовірності однієї з цих подій.
E. Відношенню їх імовірностей.

4. Кидають гральний кубик. Ймовірність випадання цифри «2» на верхній грані кубика дорівнює $P(2) = 1/6$. Визначити ймовірність випадання цифри «3» при повторному киданні кубика.

- A. 1/6. B. 1/3. C. 1/2. D. 100 %. E. 30 %.

5. Якщо дві несумісні події (A) та (B) утворюють повну групу подій, то:

- A. $P(B) - P(A) = 1$.
B. $P(A) + P(B) = 2$.
C. $P(B) + P(A) = 0$.
D. $P(A) - P(B) = 0$.
E. $P(B) + P(A) = 1$.

6. Для ймовірності $P(A)$ випадкової події (A) виконується нерівність:

- A. $0 \leq P(A) \leq \infty$.
B. $-1 \leq P(A) \leq 1$.
C. $-\infty \leq P(A) \leq +\infty$.
D. $0 \leq P(A) \leq 1$.
E. $0 \leq P(A) \leq 2$.

7. Для обчислення ймовірності ситуації, у якій подія (A) може з'являтися тільки одночасно з однією з несумісних подій (B_i) (i = 1, 2, ... n), що утворюють повну групу подій, використовується:

- A. Теорема додавання ймовірностей для залежних подій.
B. Формула Бернуллі.
C. Теорема додавання ймовірностей для незалежних подій.
D. Формула повної ймовірності.
E. Формула класичного визначення ймовірності випадкової події.

ТЕМА 6 ВИПАДКОВІ ВЕЛИЧИНИ

Випадкова величина – це величина, яка приймає в результаті випробування одне з множини можливих значень, причому поява того або іншого значення цієї величини є випадковою подією. Наприклад, кількість студентів у групі, температура людини, час одного серцевого циклу.

Розрізняють *дискретні* та *неперервні* випадкові величини.

Дискретною випадковою величиною називається випадкова величина, з кінцевою або лічильною множиною можливих значень. Прикладами дискретної випадкової величини є кількість еспандерів в залі, кількість пацієнтів у одного лікаря.

Для завдання дискретної випадкової величини необхідно вказати закон розподілу цієї величини, тобто вказати всі можливі значення цієї величини та відповідні їм імовірності. Звичайно закон розподілу дискретної випадкової величини задається таблицею вигляду:

X	x_1	x_2	...	x_n
$P(X)$	$P(x_1)$	$P(x_2)$...	$P(x_n)$

Тут і далі заголовними буквами позначені випадкові величини взагалі, а рядковими – їх конкретні значення. Така таблиця може мати скільки завгодно стовпчиків.

Події, які полягають в тому, що в результаті випробування з'являється яке-небудь з можливих значень випадкової величини, є несумісними та утворюють повну групу подій. Тому

$$\sum_{i=1}^n p_i = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 1.$$

Остання формула називається умовою нормування дискретної випадкової величини.

Нехай досліджуваною сукупністю є студенти двох груп, а ознакою x є ЧСС в стані спокою. Виміряні значення x_i (уд./хв) та їх частоти n_i представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

x_i	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
n_i	1	1	3	3	4	6	7	4	3	3	2	1

Загальна кількість студентів $N = \sum_{i=1}^k n_i = 38$.

де k – кількість варіант, $k = 12$.

У табл. 6.1 виміряні значення ознаки (варіанти) представлені у зростаючому порядку, у другому рядку наведені відповідні числа спостережень n_i кожної варіанти (частоти). Ця таблиця представляє собою статистичний розподіл ЧСС студентів у розглянутій сукупності, яке називають також варіаційним рядом.

Неперервною випадковою величиною називається випадкова величина, яка може приймати будь-яке із значень, які належать інтервалу (інтервалам), в якому вона існує.

Наприклад, зріст людини або рівень глюкози в крові – це неперервні випадкові величини. Отриманий розподіл в табл. 6.1 може бути представлено у вигляді інтервального ряду (табл. 6.2) шляхом перетворення дискретної випадкової величини в неперервну.

Таблиця 6.2

Номер класу	1	...	6	...	11	12
Класовий інтервал	[66,5; 67,4]	...	[71,5; 72,4]	...	[76,5; 77,4]	[77,5; 78,4]
Частота (n_i)	1	...	6	...	2	1
Відносна частота $p_i^* = \frac{n_i}{N}$	$\frac{1}{38}$...	$\frac{6}{38}$...	$\frac{2}{38}$	$\frac{1}{38}$

Для побудови табл. 6.2 всю ділянку можливих ЧСС студентів ми розбили на 12 однакових інтервалів або класів з однаковою шириною $\Delta x = 1$. Оскільки неперервна випадкова величина характеризується щільністю ймовірності та функцією розподілу, вибірковими оцінками яких є щільність відносної частоти і кумулятивна відносна частота відповідно, табл. 6.2 доповнено рядками, що містять значення цих величин.

Враховуючи, що неперервна випадкова величина приймає нескінченну множину значень, ймовірність того, що вона прийме яке-небудь певне значення, дорівнює нулю. Не дорівнює нулю ймовірність того, що неперервна випадкова величина прийме значення, яке лежить у якому-небудь інтервалі. Якщо ми розіб'ємо область існування випадкової величини на ряд інтервалів і для кожного з цих інтервалів вкажемо ймовірність попадання в нього випадкової величини, то ця величина буде задана тим точніше, чим на більшу кількість інтервалів буде розбита область існування. Найточніше завдання неперервної випадкової величини буде одержано, якщо розміри інтервалів прямуватимуть до нуля, а кількість інтервалів – до нескінченності.

Величина, яка дорівнює відношенню ймовірності dP попадання випадкової величини в інтервал від x до $x + dx$ до величини цього інтервалу dx , називається щільністю ймовірності неперервної випадкової величини X , тобто

$$f(X) = \frac{dP}{dx},$$

де $f(X)$ – щільність ймовірності неперервної випадкової величини X .

Завдання щільності ймовірності неперервної випадкової величини є одним із способів завдання цієї величини (тобто завдання закону розподілу цієї величини). З визначення $f(X)$ випливає, що щільність ймовірності – це не негативна величина. При відомій щільності ймовірності величини X можна обчислити ймовірність попадання цієї величини у будь-який інтервал. Так, якщо щільність ймовірності величини X дорівнює $f(X)$, то ймовірність попадання X в інтервал від a до b обчислюється за формулою:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(X) \cdot dx$$

та дорівнює величині площі криволінійної трапеції S під кривою $f(x)$ на інтервалі від a до b .

Подія, яка полягає в тому, що випадкова величина прийме будь-яке (кожне) значення, що знаходиться в інтервалі від $-\infty$ до $+\infty$, є вірогідною. Тому:

$$P(-\infty \leq X \leq +\infty) = 1.$$

Отже,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(X) \cdot dx = 1.$$

Остання формула називається *умовою нормування неперервної випадкової величини*.

Для завдання неперервної випадкової величини крім щільності ймовірності використовується *функція розподілу*. Функція розподілу $F(X)$ неперервної випадкової величини X пов'язана з щільністю ймовірності $f(X)$ цієї випадкової величини формулами:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(X) \cdot dx, \quad f(X) = \frac{dF(X)}{dx}.$$

Перша з цих формул є, по суті, визначенням поняття функції розподілу. З цієї формули видно, що **функція розподілу дорівнює ймовірності того, що випадкова величина прийме значення, яке лежить в інтервалі від $-\infty$ до x , або, іншими словами, прийме значення, яке менше або дорівнює x .**

Функція розподілу є не негативною величиною. Зі збільшенням x функція розподілу зростає або залишається сталою, причому завжди $F(X) \leq 1$. Ймовірність попадання x в інтервал від a до b обчислюється при відомій функції розподілу $F(X)$ за формулою:

$$P(a \leq X \leq b) = F(b) - F(a).$$

Для опису випадкових величин можуть також використовуватись *числові характеристики випадкових величин*.

Серед числових характеристик випадкової величини X розглянемо *математичне сподівання* ($M(X)$), *дисперсію* ($D(X)$) та *середнє квадратичне відхилення* ($\sigma(X)$).

Поняття математичного сподівання випадкової величини X майже збігається за змістом з поняттям середнього значення цієї величини. Докладніше питання про зв'язок цих понять буде обговорено при вивченні математичної статистики.

Для обчислення математичного сподівання дискретної випадкової величини використовується формула:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i) = x_1 \cdot P(x_1) + x_2 \cdot P(x_2) + \dots + x_n \cdot P(x_n),$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – всі можливі значення величини X , а $P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_n)$ – відповідні їм ймовірності.

Для обчислення $M(X)$ у випадку, якщо X – неперервна випадкова величина, використовується формула:

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(X) \cdot dx.$$

Дисперсія та середнє квадратичне відхилення характеризують величину відхилення (розкиду) значень випадкової величини від її математичного сподівання. Точніше, **дисперсія випадкової величини X – це математичне сподівання квадрата відхилення значень цієї величини від її математичного сподівання**, тобто:

$$D(X) = M[X - M(X)]^2.$$

Середнє квадратичне відхилення – це корінь квадратний з дисперсії, тобто:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}.$$

У випадку, якщо X – дискретна випадкова величина, дисперсія цієї величини може бути обчислена за формулою:

$$D(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - M(X))^2 \cdot P(x_i).$$

Якщо X – неперервна випадкова величина, то дисперсію можна обчислити за формулою:

$$D(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M(X))^2 \cdot f(X) dx.$$

Практично для обчислення дисперсії найчастіше використовують формулу:

$$D(X) = M(X^2) - (M(X))^2.$$

Таким чином, дисперсія випадкової величини X дорівнює різниці між математичним сподіванням квадрата випадкової величини X та квадратом її математичного сподівання. При цьому $M(X^2)$ обчислюють за формулами:

$$M(X^2) = \sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot P(x_i),$$

якщо X – дискретна випадкова величина, та

$$M(X^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \cdot f(X) dx,$$

якщо X – неперервна випадкова величина.

Закони розподілу дискретних випадкових величин

Біноміальний розподіл (розподіл Бернуллі) – це розподіл числа появ деякої події у серії з n незалежних випробувань, причому в кожному з цих випробувань ймовірність події постійна. Таким чином, розглянута дискретна випадкова величина (x) може приймати одне з наступного ряду значень $0, 1, 2, \dots, m, \dots, n$, де m – довільне значення величини x .

Ймовірність появи довільного значення m обчислюється за формулою Бернуллі:

$$P(m \leq n) = C_n^m p^m q^{n-m},$$

де $q = 1 - p$, $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$.

Тому розподіл дискретної випадкової величини, у якому ймовірність кожного значення дорівнює відповідному члену розкладання бінома $(p + q)^n$, називається біномним законом розподілу ймовірностей. У вигляді таблиці цей закон розподілу може бути заданий так:

X	0	\dots	m	\dots	n
$P(X)$	q^n	\dots	$C_n^m p^m q^{n-m}$	\dots	p^n

Числові характеристики випадкової величини x , розподіленої за біноміальним законом, обчислюється за формулами:

$$M(x) = np, D(x) = npq.$$

Ще раз підкреслимо, що тут результатом кожного випробування можуть бути тільки дві протилежні події (так A і \bar{A} , так – ні, вірно – невірно, орел – решка, позитивний результат лабораторного експерименту – негативний результат та. ін.). Ці сукупності, що складаються з елементів тільки двох типів, звані двозначними або дихотомічними, часто зустрічаються на практиці.

Розподіл Пуассона. Це розподілення трапляється в багатьох практичних завданнях (наприклад, при аналізі захворюваності, відвідуваності лікувально-профілактичних установ, викликів швидкої допомоги, вимог на виплату страхових сум за рік і т. д.). Розглянемо дискретну величину x , яка може приймати цілі невід'ємні значення $0, 1, 2, \dots, m$. Вважається, що послідовність значень необмежена. Кажуть, що випадкова величина x розподілена за законом Пуассона, якщо ймовірність того, що вона прийме певне значення – m , дорівнює $P_m = \frac{a^m}{m!} e^{-a}$, ($m=0,1,\dots$), де a – параметр закону Пуассона, $a > 0$.

Математичне сподівання і дисперсія рівні між собою і дорівнюють параметру розподілу: $M(x) = D(x) = a$. Закон Пуассона є граничним для біноміального розподілу, якщо одночасно $n \rightarrow \infty$, а $p \rightarrow 0$, причому np зберігається постійним і дорівнює параметру розподілу: $np = a$. Зазвичай формулу Пуассона використовують при $a < 4$ і $p < 0,1$. Через властивості закону Пуассона відобразити біноміальний розподіл при великій кількості дослідів і малу ймовірність події він має ще іншу назву – **закон рідкісних подій**.

Розподіл Пуассона трапляється в задачах з послідовністю випадкових подій, тобто з подіями, які наступають одна за другою у випадкові моменти часу. При цьому повинні виконуватися такі умови:

- 1) ймовірність появи будь-якого числа подій за деякий проміжок часу залежить від тривалості проміжку і не залежить від початку відліку і від того, скільки разів це подія вже відбулася;
- 2) за малий проміжок часу ймовірність настання однієї події пропорційна тривалості цього проміжку і значно перевищує ймовірність появи двох або більше подій.

Закони розподілу неперервних випадкових величин

Нормальний закон розподілу (Гауса). У біології та медицині найчастіше розглядають випадкові величини, які мають закон розподілу, близький до нормального, наприклад, частота дихання, частота серцевих скорочень, динаміка зростання популяції та ін.

Для нормального закону розподілу щільність ймовірності задається формулою:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

де a – математичне сподівання, а σ – середньоквадратичне відхилення, σ^2 – дисперсія.

Максимальне значення щільності ймовірності дорівнює: $f_{max}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$

Щільність ймовірності стандартного нормального розподілу має вигляд, представлений на рис. 6.1, функція його розподілу представлена на рис. 6.2.

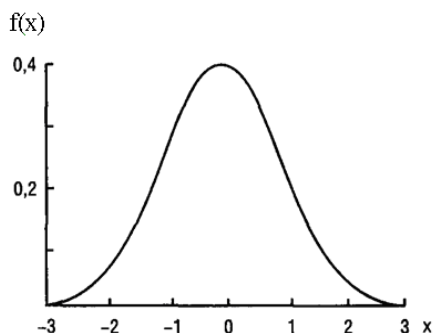


Рис. 6.1. Щільність ймовірності стандартної нормальної випадкової величини

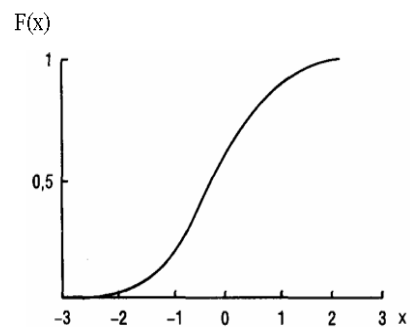


Рис. 6.2. Функція розподілу стандартної нормальної випадкової величини

У разі нормального розподілу зміна математичного сподівання не змінює форму кривої, а тільки переміщує її вздовж осі X . При зміні дисперсії форма кривої змінюється (рис. 6.3). З рисунку видно, що чим більше дисперсія, тобто чим більше ступінь розсіювання випадкових величин, тим більш пологою і розтягнутою стає крива і навпаки.

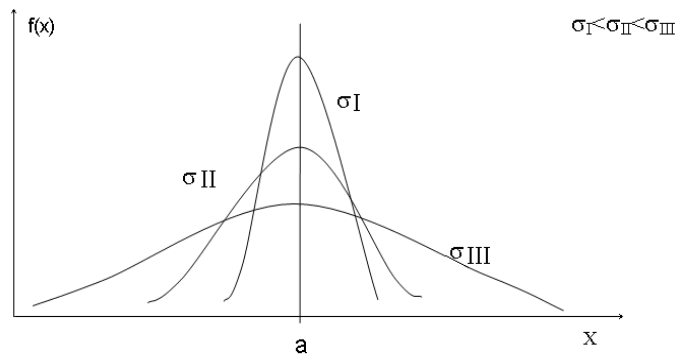


Рис. 6.3. Зміна форми щільності ймовірності нормальної випадкової величини залежно від σ

Площа під графіком функції щільності ймовірності дорівнює 1 і є ймовірністю достовірної події.

Функція Лапласа

При необхідності обчислення ймовірності попадання величини X , яка має нормальний розподіл, у який-небудь інтервал треба інтегрувати наведений вище вираз для $f(X)$. Цей інтеграл не може бути виражений через елементарні функції. У зв'язку з цим вводиться поняття *функції Лапласа*, яка дорівнює:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Для функції Лапласа за допомогою чисельних методів складена таблиця значень. Легко показати, що, якщо X має нормальний розподіл, то

$$P(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx = \varphi(t_2) - \varphi(t_1),$$

де $t = (x - a)/\sigma$. Таким чином, обчислення ймовірності попадання нормально розподіленої випадкової величини в інтервал $[x_1, x_2]$ зводиться до визначення значень t_1 і t_2 та знаходження по таблиці значень функції Лапласа величин $\varphi(t_1)$ і $\varphi(t_2)$. Слід пам'ятати, що у таблиці значень функції Лапласа приводяться значення $\varphi(t)$ тільки для позитивних t , але при $x < a$ значення t виходять негативними. У цьому випадку треба використати властивість непарності функції Лапласа, тобто використати формулу $\varphi(-t) = -\varphi(t)$.

Функція розподілу нормально розподіленої випадкової величини також не може бути виражена через елементарні функції, але її можна виразити через функцію Лапласа:

$$F(x) = 0,5 + \varphi(t).$$

Ця формула дозволяє обчислювати значення $F(x)$, використовуючи таблицю значень функції Лапласа.

Важливість вивчення нормального розподілу, зокрема, пов'язана з тим, що багато величин, які характеризують біологічні та медичні об'єкти, мають закони розподілу, близькі до нормального закону. Такі закони розподілу мають, наприклад:

- ріст та вага дорослих людей;
- верхній артеріальний тиск крові при дослідженні великого контингенту пацієнтів;
- довжина судин, розміри органів, вага та об'єм мозку, визначені при масових анатомічних дослідженнях;
- абсолютні похибки показань приладів, вимірів;
- зміст ферментів у здорових людей.

Приклад 1. Дискретна випадкова величина має п'ять можливих значень, чотири з яких це -2, -1, 1, 2, а відповідні їм імовірності – 0,1; 0,3; 0,2; 0,2. Відомо, що математичне сподівання цієї величини дорівнює 0,7. Знайти закон розподілу та дисперсію випадкової величини.

X	-2	-1	1	2	?
P	0,1	0,3	0,2	0,2	?

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(x_i);$$

$$0,7 = -0,2 - 0,3 + 0,2 + 0,4 + x \cdot 0,2;$$

$$0,2 \cdot x = 0,7 - 0,1;$$

$$0,2 \cdot x = 0,6;$$

$$x = 3;$$

$$M(x^2) = 4 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,2 = 0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,8 + 1,8 = 3,5;$$

$$D(x) = M(x^2) - (M(x))^2 = 3,5 - 0,49 = 3,01.$$

Таким чином,

X	-2	-1	1	2	3
P	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2

Приклад 2. Знайти функцію розподілу неперервної випадкової величини X , яка має щільність ймовірності

$$f(X) = \begin{cases} 0, & x \leq -1 \\ \frac{1}{3}, & -1 < x \leq 0 \\ \frac{2}{3}, & 0 < x \leq 1 \\ 0, & x > 1 \end{cases}$$

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x) dx;$$

$$1) x \leq -1; F(X) = \int_{-\infty}^x 0 \cdot dx = 0;$$

$$2) -1 < x \leq 0; F(X) = \int_{-\infty}^{-1} 0 \cdot dx + \int_{-1}^x \frac{1}{3} dx = 0 + \frac{1}{3} x \Big|_{-1}^x = \frac{x+1}{3};$$

$$3) 0 < x \leq 1; F(X) = \int_{-\infty}^{-1} 0 \cdot dx + \int_{-1}^0 \frac{1}{3} dx + \int_0^x \frac{2}{3} dx = 0 + \frac{1}{3} x \Big|_{-1}^0 + \frac{2}{3} x \Big|_0^x = \frac{0+1}{3} + \frac{2(x-0)}{3} = \frac{1+2x}{3};$$

$$4) x > 1; F(X) = \int_{-\infty}^{-1} 0 \cdot dx + \int_{-1}^0 \frac{1}{3} dx + \int_0^1 \frac{2}{3} dx + \int_1^x 0 \cdot dx = 0 + \frac{1}{3} x \Big|_{-1}^0 + \frac{2}{3} x \Big|_0^1 + 0 = \frac{0+1+2(1-0)}{3} = 1.$$

Таким чином,

$$F(X) = \begin{cases} 0, & x \leq -1 \\ \frac{x+1}{3}, & -1 < x \leq 0 \\ \frac{1+2x}{3}, & 0 < x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$$

Приклад 3. Дискретна випадкова величина має закон розподілу

X	1	2	3	4
$P(X)$	0,4	0,3	0,2	0,1

Знайти: $M(X)$, $D(X)$, $\sigma(X)$.

$$M(X) = \sum_{i=1}^4 x_i \cdot P(x_i) = 1 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 = 2;$$

$$M(X^2) = \sum_{i=1}^4 x_i^2 \cdot P(x_i) = 1 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,3 + 9 \cdot 0,2 + 16 \cdot 0,1 = 0,4 + 1,2 + 1,8 + 1,6 = 5;$$

$$D(X) = M(X^2) - (M(X))^2 = 5 - 2^2 = 5 - 4 = 1;$$

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} = \sqrt{1} = 1.$$

Приклад 4. Неперервна випадкова величина X має щільність ймовірності

$$f(X) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ x, & 0 < x \leq 1 \\ 2-x, & 1 < x \leq 2 \\ 0, & x > 2 \end{cases}$$

Знайти: $M(X)$, $D(X)$.

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot f(x) \cdot dx = \int_{-\infty}^0 x \cdot 0 \cdot dx + \int_0^1 x^2 \cdot dx + \int_1^2 x \cdot (2-x) \cdot dx + \\ + \int_2^{+\infty} x \cdot 0 \cdot dx = 0 + \left. \frac{x^3}{3} \right|_0^1 + \left. x^2 - \frac{x^3}{3} \right|_1^2 + 0 = \frac{1}{3} + 4 - 1 - \frac{8}{3} + \frac{1}{3} = 1;$$

$$M(X^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \cdot f(x) \cdot dx = \int_{-\infty}^0 x^2 \cdot 0 \cdot dx + \int_0^1 x^3 \cdot dx + \\ + \int_1^2 x^2 \cdot (2-x) \cdot dx + \int_2^{+\infty} x^2 \cdot 0 \cdot dx = 0 + \left. \frac{x^4}{4} \right|_0^1 + \left. \frac{2x^3}{3} - \frac{x^4}{4} \right|_1^2 + 0 = \frac{1}{4} + \frac{16}{3} - \frac{2}{3} - \frac{16}{4} + \frac{1}{4} = \frac{7}{6};$$

$$D(X) = M(X^2) - (M(X))^2 = \frac{7}{6} - 1 = \frac{1}{6}.$$

Приклад 5. Нехай x – число рецесивів серед n нащадків, отриманих при схрещуванні двох гібридів $gG \times gG$. За теорією Менделя ймовірність того, що нащадок двох гібридів буде рецесивним, дорівнює 0,25. У рамках теорії Менделя x є випадковою біноміально розподіленою величиною з ймовірністю:

$$P(x = m) = C_n^m 0,25^m \cdot (1 - 0,25)^{n-m}.$$

Тобто, підставляючи певні значення m , отримаємо ймовірність появи m рецесивів серед n нащадків.

Приклад 6. Вакцина формує імунітет до деякого захворювання з імовірністю 0,999. Вакциновано 4000 жителів міста. Яка ймовірність того, що двоє з них не набули імунітет.

Для визначення ймовірності в заданій ситуації бажано використовувати закон Пуассона, тому:

$$a = np = 4000 \times 0,001 = 4;$$

$$P(x = 2) = \frac{4^2}{2!} e^{-4} = 0,147$$

Приклад 7. Випадкова величина X має нормальний розподіл з параметрами $a = 4$, $\sigma = 2$.

Визначити значення її функції розподілу при $x_1 = 6$ та $x_2 = 0$.

Для того, щоб використати таблицю значень функції Лапласа, знайдемо t_1 та t_2 за формулами:

$$t_2 = \frac{x_1 - a}{\sigma} = \frac{6 - 4}{2} = 1; \quad t_1 = \frac{x_2 - a}{\sigma} = \frac{0 - 4}{2} = -2.$$

За обчисленими значеннями t_1 та t_2 знаходимо:

$$\varphi(t_2) = \varphi(1) = 0,341; \quad \varphi(t_1) = \varphi(-2) = -\varphi(2) = -0,477.$$

Тоді

$$F(6) = 0,5 + 0,341 = 0,841; \quad F(0) = 0,5 - 0,477 = 0,023.$$

Питання, винесені на семінар

1. Визначення поняття випадкової величини.
2. Дискретні та неперервні випадкові величини.
3. Закон розподілу та умова нормування дискретної випадкової величини.
4. Числові характеристики дискретних випадкових величин: математичне сподівання, дисперсія, середнє квадратичне відхилення.
5. Визначення поняття щільності ймовірності та функції розподілу неперервної випадкової величини.
6. Умова нормування неперервної випадкової величини.
7. Закони розподілу дискретних випадкових величин:
 - біноміальний розподіл;
 - розподіл Пуассона.
8. Закони розподілу неперервних випадкових величин:
 - нормальний закон розподілу (Гауса);
 - емпіричні закони розподілу.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Вкажіть приклад дискретної випадкової величини:
 - A. Артеріальний тиск крові людини.
 - B. Вміст цукру в крові.
 - C. Кількість книг на полиці.
 - D. Вміст гормонів у крові людини.
 - E. Зріст та вага людини.
2. Функція розподілу $F(X)$ неперервної випадкової величини X визначається за формулою:
 - A. $F(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(X) + dx$. B. $F(X) = \int_0^1 f(X) \cdot dx$. C. $F(X) = \int_{-\infty}^x x \cdot f(X) - d \cdot x$.
 - D. $F(X) = \int_x^{+\infty} f(X) \cdot dx$ E. $F(X) = \int_{-\infty}^x f(X) \cdot dx$,де $f(X)$ – щільність ймовірності неперервної випадкової величини.
3. Функція розподілу $F(X)$ – це:
 - A. Дисперсія неперервної випадкової величини.
 - B. Ймовірність попадання значення дискретної випадкової величини в інтервал $(-\infty \leq X \leq x)$.
 - C. Ймовірність попадання значення неперервної випадкової величини в інтервал $(-\infty \leq X \leq x)$.
 - D. Середнє квадратичне відхилення дискретної випадкової величини.
 - E. Середнє значення випадкової величини.
4. Однією з числових характеристик випадкової величини є:
 - A. Дисперсія $D(X)$.
 - B. Диференціал функції dx .
 - C. Функція розподілу $F(X)$.
 - D. Ймовірність попадання $P(X)$ в інтервал (від a до b).
 - E. Щільність ймовірності $f(X)$.
5. Якщо дисперсія $D(X)$ випадкової величини X дорівнює 0,04, то середнє квадратичне відхилення $\sigma(X)$ цієї величини дорівнює:
 - A. 0,16. B. 0,02. C. 0,2. D. 0,0016. E. 0,4.
6. Укажіть приклад неперервної випадкової величини.
 - A. Температура повітря навколишнього середовища.
 - B. Кількість хворих, що були на прийомі в лікаря.
 - C. Кількість студентів у групі.
 - D. Кількість аркушів у книзі.
 - E. Кількість днів у місяці.
7. Вимірювання середнього квадратичного відхилення випадкової величини дорівнює:
 - A. Вимірюванню випадкової величини.
 - B. Кореню квадратному з вимірювання випадкової величини.
 - C. Це завжди безрозмірна величина.
 - D. Квадрату вимірювання випадкової величини.
 - E. Кореню квадратному з вимірювання математичного сподівання випадкової величини.

ТЕМА 7

ЕЛЕМЕНТИ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Статистика в медицині є одним з інструментів аналізу експериментальних даних і клінічних спостережень, а також мовою, за допомогою якої повідомляються отримані математичні результати. Однак це не єдине завдання статистики в медицині. Математичний апарат широко застосовується в діагностичних цілях, вирішенні класифікаційних завдань і пошуку нових закономірностей, для постановки нових наукових гіпотез.

Мета математичної статистики полягає в створенні методів збору та обробки статистичних даних для отримання наукових і практичних висновків. Дана мета досягається вирішенням двох основних завдань. Перше завдання математичної статистики – вказати способи збору і угруповання статистичних відомостей, отриманих в результаті спостережень або в результаті спеціально поставлених експериментів, друге – розробити методи аналізу статистичних даних залежно від цілей дослідження.

Основні поняття математичної статистики

Вивчення понять математичної статистики почнемо з поняття *сукупності*.

Сукупність – це множина об'єктів (елементів сукупності), які мають загальну властивість. Число елементів сукупності називають *об'ємом сукупності*. Сукупності, у свою чергу, можуть бути елементами якихось загальніших сукупностей. Наприклад, сукупність студентів першого курсу деякого ЗВО, сукупність студентів другого курсу тощо є елементами сукупності, до якої входять всі студенти цього ЗВО.

Найбільша сукупність, яка об'єднує всі елементи, що мають яку-небудь властивість (властивість, наявність якої дозволяє віднести елементи до даної сукупності), називається генеральною сукупністю. При вивченні сукупностей ми, як правило, намагаємось зробити висновки, які стосуються всієї генеральної сукупності. Наприклад, якщо вивчається сукупність пацієнтів з яким-небудь захворюванням з метою визначення найефективнішого способу лікування цього захворювання, то, зрозуміло, що розроблений спосіб матиме цінність, якщо він може застосуватися при лікуванні не тільки тих хворих, які вивчалися, але й всіх хворих з даним захворюванням, тобто для всіх елементів генеральної сукупності.

Генеральна сукупність часто має дуже великий (а можливо, і нескінченно великий) об'єм, що робить неможливим вивчення всіх її елементів. Тому вивчають тільки частину елементів генеральної сукупності. **Частина генеральної сукупності, яка обрана для вивчення, називається вибірковою сукупністю або просто вибіркою.** Далі ми будемо вважати, що елементи розглянутих сукупностей характеризуються кількісною ознакою X , яка є випадковою (найчастіше – неперервною випадковою) величиною. **Значення величини X для окремого елемента вибірки називають варіантою.**

Нехай потрібно вивчити кількісну ознаку *генеральної сукупності*. Припустимо, що з теоретичних міркувань вдалося встановити, який саме розподіл має ознака, що досліджується. Природно виникає задача оцінки параметрів, якими визначається цей розподіл.

Також нехай набір значень (x_1, x_2, \dots, x_n) досліджуваної випадкової величини x , який отримано в результаті n дослідів. За частотою виникнення того чи іншого значення випадкової величини x у вибірці можна судити про частоту цього значення у всій генеральній сукупності. Вибірка називається репрезентативною, якщо її склад і структура за своїми істотними характеристиками відповідають складу і структурі генеральної сукупності.

Першим кроком статистичного аналізу є класифікація типу даних, тобто віднесення їх до тієї чи іншої шкали вимірів. Статистичні дані можуть бути представлені як кількісними (числовими неперервними або дискретними), так і якісними (категоріальним порядковими або номінальними) змінними. Необхідно чітко вказувати тип змінної при заповненні бази даних і точно дотримуватися обраного типу даних, оскільки від цього може залежати подальша обробка даних.

Кількісні (числові) дані припускають, що змінна приймає деяке числове значення. З них виділяють *дискретні* дані, які можуть приймати чітко певні значення, в той час як *неперервні* можуть бути представлені будь-якими значеннями. Унікальним прикладом кількісних даних є представлення віку двома типами, а саме: у вигляді неперервної змінної – вказується точний вік пацієнта, і у вигляді дискретної змінної – вказується тільки кількість повних років (50,3 року і 50 років; 50,9 року і 51 рік).

Категоріальність є основою смислового розуміння якісних змінних. Категоріальні дані застосовуються для опису стану об'єкта шляхом присвоєння йому номера, відповідної категорії, до якої цей об'єкт належить. Важливою умовою для застосування категоріальних даних є приналежність одного об'єкта дослідження тільки до однієї можливої категорії для одного критерію.

Якісні номінальні дані використовуються в тому випадку, якщо категорії не впорядковані. Числа в даному випадку є лише позначенням для стану об'єкта і не впорядковують цей стан. Наприклад, за статтю: 1 – чоловіча, 2 – жіноча.

Якісні порядкові (рангові, ординарні) дані – це дані, для яких категорії можуть бути впорядковані. Наприклад, від поганого самопочуття до кращого: 1 – гарне, 2 – задовільне, 3 – погане.

Інтервальні шкали – це істинні кількісні шкали (довжина, температура, час). Для них мають сенс всі зазначені вище операції та операції співвідношення $x \pm u$, xu та ін.

Графічний метод подання статистичних даних

Статистичним графіком називається креслення, на якому статистичні дані зображені за допомогою точок, ліній, геометричних фігур, а також інших символів.

Статистичні розподіли, які представлені наведеними таблицями, можна наочно зобразити у вигляді полігону, гістограми та кумуляти. Гістограму можна вважати емпіричною щільністю ймовірності, а кумуляту – емпіричною функцією розподілу для випадкової величини (рис. 7.1–7.3).



Рис. 7.1. Полігон частот варіаційного ряду

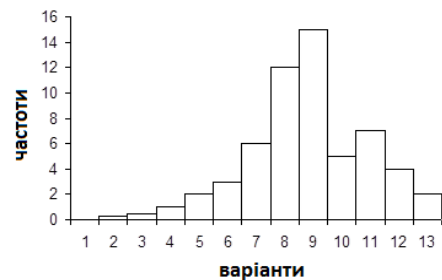


Рис. 7.2. Гістограма варіаційного ряду

Нагадаємо, що загальна площа прямокутників, які утворюють гістограму, дорівнює 1.

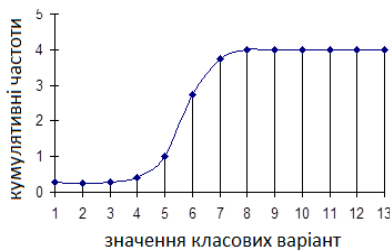
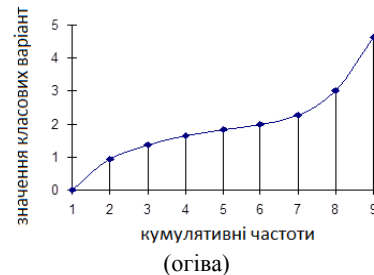


Рис. 7.3. Кумуляти варіаційного ряду



Побудовані графіки дають підставу вважати розподіл близьким до нормального і перейти до знаходження вибірових оцінок математичного сподівання і дисперсії, які, як було сказано, повністю визначають аналітичну форму розподілу.

У ряді випадків буває важливо вже на початковому етапі аналізу даних вирішити питання про те, чи є підстави припускати наявність для величини X деякого конкретного закону розподілу (наприклад, нормального розподілу). Побудова гістограми здатна дати попередню (яка, можливо, потребує надалі уточнення) відповідь на зазначене питання.

Описова статистика

Однією з основних складових будь-якого аналізу даних є описова (дескриптивна) статистика. Її головним завданням є надання стислої та концентрованої характеристики досліджуваного явища в числовому і графічному вигляді.

Показники описової статистики можна розбити на кілька груп:

- показники, що описують стан експериментальних даних на числовій осі; приклади таких даних – максимальний і мінімальний елементи вибірки, середнє значення, медіана, мода та ін.;
- показники, що описують ступінь розкиду даних відносно центральної тенденції; до них відносяться: вибіркова дисперсія, різниця між мінімальним і максимальним елементами (розмах, інтервал вибірки) та ін.;
- показники асиметрії: положення медіани відносно середнього та ін.;
- графічні представлення результатів – гістограма, частотна діаграма та ін.

Дані показники використовуються для наочного представлення та аналізу результатів всієї дослідницької вибірки, експериментальної та контрольної групи.

При використанні описової статистики важливо враховувати тип даних і параметри розподілу, що характеризуються показниками асиметрії та гістограмою розподілу. Тому розпочинаючи статистичну обробку своїх досліджень, лікар повинен вирішити, які методи йому більше підходять за особливостями його матеріалу – параметричні або непараметричні.

При вивченні деяких змінних ознак вибіркової сукупності, при складанні рядів розподілу по згрупованим даним рекомендується представити цей розподіл у вигляді діаграми. На діаграмі зображується полігон розподілу, контури якого допоможуть вирішити питання про статистичні методи обробки. Такий контур може відповідати кривій нормального розподілу, що вивчається в попередньому розділі (рис. 7.4.).

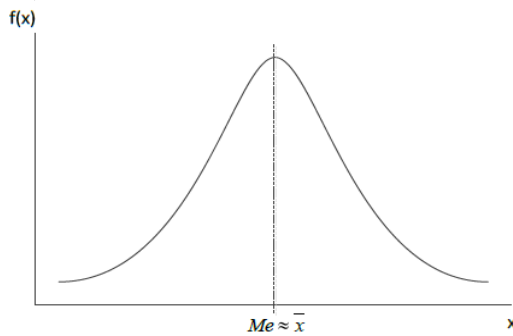


Рис. 7.4. Графік нормального розподілу

Для нормального розподілу значення середнього і медіани (Me) приблизно рівні (поняття медіани буде розглянуто нижче). Для ненормального розподілу співвідношення середнього і медіани (Me) значно різні (рис. 7.5).

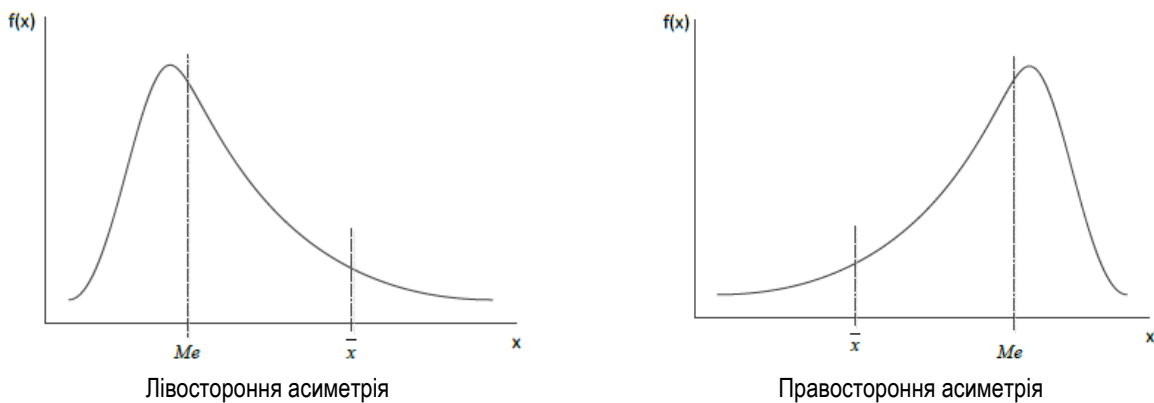


Рис. 7.5. Графік ненормального розподілу

Критеріями, що найчастіше вживаються для перевірки гіпотези про закон розподілу, є *критерій χ^2* і *критерій Колмогорова-Смирнова*: якщо статистична значимість менше за 0,05 ($p < 0,05$), розподіл ознаки у вибірці визнається ненормальним.

Відповідно до типу розподілу застосовується два принципи статистичної обробки: *параметричний* (включає всі методи аналізу нормального розподілу кількісних ознак) і *непараметричний*.

Статистичні характеристики окремої сукупності

При вивченні сукупностей, як правило, намагаються визначити значення яких-небудь числових показників, що характеризують ці сукупності. Дані числові показники прийнято називати *статистичними характеристиками*.

Елементи вибіркової сукупності відбираються з генеральної сукупності випадковим чином. Тому властивості вибіркової сукупності звичайно не збігаються в точності з властивостями генеральної сукупності, тобто значення статистичних характеристик, визначені при вивченні вибірки, не збігаються з істинними значеннями статистичних характеристик генеральної сукупності, причому відмінності цих значень можуть бути великими. Отже, при вивченні вибірки ми ніколи не можемо точно визначити значення статистичних характеристик генеральної сукупності, а можемо тільки з більшою або меншою точністю оцінити ці значення. При цьому значення, отримані при вивченні вибіркової сукупності, які використовують замість істинних значень визначених статистичних характеристик генеральної сукупності, називають *оцінками (вибілковими оцінками)* цих статистичних характеристик.

При оцінюванні статистичних характеристик за вибіркою існують дві основні проблеми: 1) як знайти найкращу вибіркoву оцінку досліджуваної характеристики; 2) наскільки цій оцінці можна довіряти, тобто наскільки сильно значення оцінки може відрізнятис­я від істинного значення статистичної характеристики. Відповідь на друге питання звичайно дається у вигляді обчислення меж *надійного інтервалу*, про що докладніше буде сказано далі. Зараз відзначимо, що наявність двох зазначених проблем приводить до необхідності введення двох нових термінів. Визначення чисельного значення оптимальної оцінки статистичної характеристики називається *точковою оцінкою* цієї характеристики, а побудова надійного інтервалу – *надійною оцінкою*, або *інтервальною*.

Розглянемо методикау точкової оцінки математичного сподівання (середньої арифметичної), дисперсії та середнього квадратичного відхилення випадкової величини за вибіркою.

Найбільш поширеною формою статистичних показників є **середня величина**, яка є *узгаальною кількісною характеристикою ознаки у вибірці в конкретних умовах місця і часу*.

Значення ознаки окремих одиниць сукупності можуть коливатися в ту чи іншу сторону під впливом як основних, так і випадкових факторів. Сутність середньої полягає в тому, що в ній взаємогасяться відхилення значень ознаки окремих одиниць вибірки, зумовлені дією випадкових факторів, і враховуються зміни, викликані дією основних чинників. Це дозволяє середній відображати типовий рівень ознаки і абстрагуватися від індивідуальних особливостей, властивих окремим одиницям. Нехай при вивченні вибірки були отримані такі значення деякої випадкової величини X : x_1, x_2, \dots, x_n (n – об'єм вибірки). Тоді оптимальною вибірковою оцінкою математичного сподівання величини X (далі позначатимемо її $\hat{M}(X)$) буде середнє вибіркoве (\bar{x}), яке може бути обчислене за формулою:

$$\hat{M}(X) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

Привернемо увагу до різниці у застосуванні понять «середнє значення» та «математичне сподівання». Термін «математичне сподівання» стосується генеральної сукупності та еквівалентний поняттю «середнє значення для генеральної сукупності». Поняття «середнє значення», з одного боку, ширше, тому що можна говорити про середнє значення як для генеральної, так і для вибіркової сукупності, а з іншого боку, це поняття найчастіше вживається саме у значенні «середнє вибіркoве».

У багатьох практичних випадках важливим є питання про те, наскільки великі відхилення випадкової величини від її середнього значення. Для оцінки розсіювання значень випадкової величини в околі її математичного сподівання або середнього значення вводиться нова точкова оцінка – *дисперсія* (розсіювання). На основі дисперсії було розроблено нові методи дослідження, а також нові показники кількісної характеристики великого класу явищ. Зокрема, дисперсії можна додавати і віднімати, на відміну від стандартних відхилень.

Оптимальна вибіркoва оцінка дисперсії величини X (далі позначатимемо її $\hat{D}(X)$) обчислюється за формулою:

$$\hat{D}(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}.$$

На практиці для обчислення $\hat{D}(X)$ часто використовують формулу:

$$\hat{D}(X) = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n(\bar{x})^2 \right).$$

Стандартне відхилення оцінює розкид значень, які спостерігаються навколо їх середньої. Вибіркову оцінку середнього квадратичного відхилення величини X (позначається $\hat{\sigma}(X)$ або $S(X)$) знаходять за формулою:

$$\hat{\sigma}(X) = S(X) = \sqrt{\hat{D}(X)}.$$

Враховуючи, що $\hat{D}(X) = S^2(X)$, для позначення вибіркової оцінки дисперсії замість $\hat{D}(X)$ часто використовують позначення S^2 . Ви­ражається в тих же одиницях виміру, що і кількісна ознака.

Основна кількість спостережуваних результатів групується навколо найбільш ймовірного значення a . У практичному застосуванні важливим є правило «трьох сигм», а саме: нормальна випадкова величина з імовірністю 0,997 потрапляє в інтервал $[(a - 3\sigma), (a + 3\sigma)]$. В інтервалі $[(a - 2\sigma), (a + 2\sigma)]$ лежить 95,5 % усіх значень, а в інтервалі $[(a - \sigma), (a + \sigma)]$ – 68,3 % всіх значень (рис. 7.6). Таким чином, за показником σ можна оцінити полосу, в якій відбувається варіація «основної маси» (95,4 %) значень ознаки. Як правило, в решту 5 % входять нетипові значення (викиди).

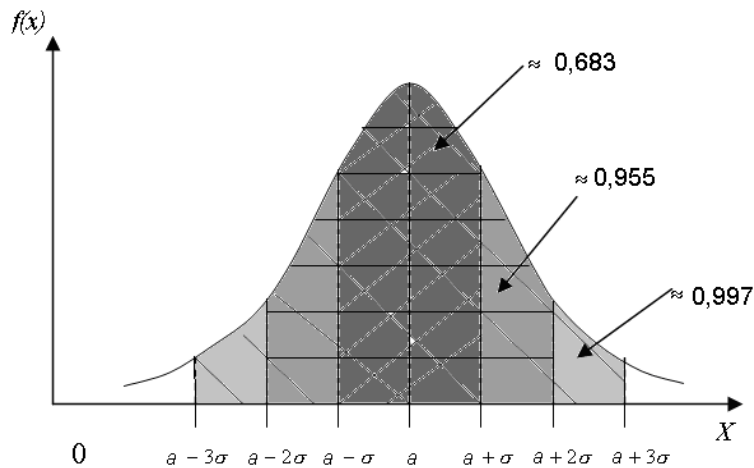


Рис. 7.6. Графік щільності нормально розподіленої випадкової величини з математичним сподіванням a і дисперсією σ^2

Відзначимо, що вибіркова оцінка математичного сподівання є випадковою величиною. Для характеристики величини розкиду значень оцінки математичного сподівання відносно його істинного значення використовується така статистична характеристика, як похибка середнього m_x (інше позначення – $S_{\bar{x}}$). Ця величина визначається за формулою:

$$m_x = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Розглянемо тепер методичку надійної (інтервальної) оцінки математичного сподівання випадкової величини за вибіркою.

Оцінка статистичної характеристики, знайдена за вибіркою, є випадковою величиною, та її відхилення від істинного значення статистичної характеристики у загальному випадку може бути як завгодно великим. Тому не можна ставити питання про визначення границь інтервалу, у який істинне значення статистичної характеристики попадає вірогідно, а можна лише розв'язувати задачу визначення інтервалу, у який істинне значення попадає з деякою ймовірністю α , яка нас влаштовує (її звичайно називають надійною ймовірністю або коефіцієнтом довіри). Такий інтервал називають надійним інтервалом. Таким чином, **надійний інтервал для статистичної характеристики – це випадковий інтервал, границі якого повністю визначаються значеннями досліджуваної величини у вибірці, що вивчається, та який із заданою ймовірністю α накриває істинне значення цієї статистичної характеристики.** У цьому визначенні слова «випадковий інтервал» означають, що границі надійного інтервалу також є випадковими величинами. Величину $p=1-\alpha$ називають *рівнем значущості* відхилення оцінки або просто рівнем значущості.

Рівень значущості – це ймовірність помилки першого роду при прийнятті рішення. Для позначення рівня значущості використовують $p = 0,05$; $p = 0,01$; $p = 0,001$. Ймовірність помилки (p) показує відсоток помилки, допустимий при статистичному дослідженні. Наприклад, в групі зі 100 учнів проводилося дослідження за рівнем стомлюваності на початку і в кінці навчального року. Була прийнята нульова гіпотеза (H_0), яка полягає в тому, що істотних відмінностей між рівнем стомлюваності на початку року і в кінці немає (з рівнем значущості 0,05). Це означає, що відмінності можуть бути тільки в 5 % загальної кількості випробовуваних, тобто відмінності можуть спостерігатися у п'яти дітей із цих ста.

Ми розглядатимемо задачу визначення надійного інтервалу тільки для математичного сподівання випадкової величини X та тільки у випадку, якщо ця величина має нормальний розподіл. Відзначимо, що описаний далі метод визначення надійних границь для $M(X)$ застосовується у більшості практичних випадків без перевірки нормальності розподілу величини X , оскільки більшість випадкових величин, які трапляються на практиці, мають нормальний розподіл або близький до нього. Крім того, на практиці рідко трапляються розподіли, для яких надійний інтервал ширше, ніж для нормального розподілу.

Для обчислення границь надійного інтервалу для математичного сподівання нормально розподіленої випадкової величини X можуть використовуватися різні формули залежно від того, відомим або невідомим є значення дисперсії $D(X)$. Випадок відомої дисперсії має місце, коли здійснюються виміри приладом з відомою похибкою, причому ця похибка значно більша випадкової

похибки вимірів (докладніше це питання буде розглянуте в розділі «Методи обробки результатів вимірів»), або коли дисперсія оцінена за вибіркою досить точно (вважається, що при $n \geq 30$ вибірковою оцінку дисперсії можна приймати як істинне значення дисперсії, тобто вважати величину $D(X)$ відомою). У цьому випадку надійний інтервал для $M(X)$ обчислюється за формулою:

$$\bar{x} - t(\alpha) \sqrt{\frac{D(X)}{n}} \leq M(X) \leq \bar{x} + t(\alpha) \sqrt{\frac{D(X)}{n}},$$

де \bar{x} – середнє вибіркоче, n – об'єм вибірки, а величина $t(\alpha)$ знаходиться за таблицею значень функції Лапласа, виходячи з умови: $\varphi(t) = \frac{\alpha}{2}$. У медико-біологічних дослідженнях звичайно приймають $\alpha = 0,95$ ($p = 0,05$). У цьому випадку $t(\alpha) = 1,96$.

Якщо дисперсія невідома та $n < 30$, то при визначенні надійного інтервалу для $M(X)$ використовують формулу:

$$\bar{x} - t(\alpha, k) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \leq M(X) \leq \bar{x} + t(\alpha, k) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}},$$

де S – вибіркоче оцінка середнього квадратичного відхилення, k – число ступенів волі ($k = n - 1$), $t(\alpha, k)$ – коефіцієнт Стьюдента, що визначається за таблицею значень коефіцієнта Стьюдента. Його значення знаходять на перетині стовпчика, який відповідає необхідному значенню α (або p) та рядка з обчисленим значенням k . Наприклад, при $p = 0,05$ та $k = 20$ коефіцієнт Стьюдента – $t(\alpha, k) = 2,09$.

Розглянемо приклади використання вивчених методик статистичного аналізу даних.

Непараметричні описові методи

Непараметричні методи математичної статистики – це методи безпосередньої оцінки і перевірки гіпотез про теоретичний розподіл ймовірностей і тих чи інших його загальних властивостей (симетрії, незалежності і т. д.) за результатами спостережень.

Назва «Непараметричні методи» підкреслює їх відмінність від класичних (параметричних) методів, в яких передбачається, що невідомий теоретичний розподіл належить якому-небудь сімейству, що залежить від кінцевого числа параметрів (наприклад, сімейству нормальних розподілів), і які дозволяють за результатами спостережень оцінювати невідомі значення цих параметрів і перевіряти ті чи інші гіпотези щодо їх значень.

Непараметричні методи вважаються менш потужними порівняно з параметричними, тобто іноді вони не дозволяють виявити статистичні закономірності, які можуть бути виявлені за допомогою параметричних методів. У той же час непараметричні методи більш надійні у випадках, коли є сумніви в тому, що аналізована ознака має нормальний розподіл. Для нормально розподілених ознак параметричні і непараметричні методи дають близькі результати.

Мода (M_0) – це найбільш часте значення у вибірці, або середнє значення класу з найбільшою частотою. *Мода* як центральна тенденція використовується найчастіше для того, щоб дати загальне уявлення про розподіл. У деяких випадках у розподілу можуть бути дві *моди*, в такому випадку це свідчить про бімодальний розподіл, що вказує на наявність двох відносно самостійних груп.

Медіана (Me) відповідає центральному значенню в послідовному ряді всіх отриманих значень або середньому значенню, яке найбільш часто трапляється в значеннях вибірки.

Приклад. Нехай є такі дані про пацієнтів відділення, що складається з 9 чоловік (*табл. 7.1*):

Таблиця 7.1

-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кількість днів, проведених в стаціонарі	4	3	4	5	3	3	6	2	6

Для визначення медіани необхідно провести ранжування кількості днів, проведених у стаціонарі кожним пацієнтом:

2 3 3 3 4 4 5 6 6

Центральним в цьому впорядкованому ряді є п'яте зліва значення (пацієнт, який провів у стаціонарі 4 дні), отже, дане значення ознаки і буде медіанне. Інтерпретація: половина пацієнтів були на лікуванні в стаціонарі менше 4 днів, а друга половина – 4 дні і більше. *Мода* в даному прикладі дорівнюватиме 3.

Якщо ранжируваний ряд містить парне число значень, то *медіана* визначається як середня їх двох центральних значень.

Медіана разом з квантилями використовується для представлення дискретних змінних або кількісних неперервних змінних з ненормальним розподілом. Квантилі – це значення ознаки, які ділять ранжирувану сукупність на чотири рівні частини.

Розрізняють наступні квантилі:

- нижню квантиль Q_n , що відокремлює $\frac{1}{4}$ частини сукупності з найменшими значеннями ознаки;
- середню квантиль – медіану;
- верхню квантиль Q_6 , що відокремлює $\frac{1}{4}$ частини сукупності з найбільшими значеннями ознаки.

Для розрахунку квантилей за інтервальним варіаційним рядом використовуються формули:

$$Q_n = x_{Q_n} + h \cdot \frac{\frac{1}{4} \cdot \sum v_i - S_{Q_n-1}}{v_{Q_n}} \quad ; \quad Q_6 = x_{Q_6} + h \cdot \frac{\frac{3}{4} \cdot \sum v_i - S_{Q_6-1}}{v_{Q_6}}$$

де x_{Q_n} – нижня межа інтервалу, що містить нижню квантиль (інтервал визначається по накопиченій частоті, першої, що перевищує $\frac{1}{4}$ вибірки);

x_{Q_6} – верхня межа інтервалу, що містить верхню квантиль (інтервал визначається по накопиченій частоті, першої, що перевищує $\frac{3}{4}$ вибірки);

h – довжина інтервалу;

S_{Q_n-1} – накопичена частота інтервалу, попереднього інтервалу, який містить нижню квантиль;

S_{Q_6-1} – накопичена частота інтервалу, попереднього інтервалу, який містить верхню квантиль;

v_i – частота спостережень;

v_{Q_n}, v_{Q_6} – частота інтервалу, містить нижню і верхню квантилі відповідно.

Квантильний розмах – різниця між верхньою і нижньою квантилями: $H = Q_6 - Q_n$. Він охоплює 50 % значень вибірки.

Визначення статистичної значущості різниці сукупностей

Одна з найважливіших задач використання статистичних методів в медико-біологічних дослідженнях – статистична оцінка вірогідності різниць між окремими вибірками або теоретичними і експериментальними даними. Рішення цієї задачі дозволяє відповісти на питання: чи є отримані відмінності випадковими, чи вони обумовлені якими-небудь причинами. Тобто, якщо різниця між вибірками відсутня, то приймається нульова гіпотеза (H_0), якщо різниця вірогідна – приймається альтернативна гіпотеза (H_1).

Залежно від розподілу даних використовують параметричні та непараметричні методи.

Параметричні методи. Найпоширенішими критеріями, пов'язаними з параметрами нормального розподілу (тобто середнім \bar{x}_G та дисперсією σ_G), є критерій Стьюдента та Фішера.

Критерій Стьюдента призначено для оцінки різниці між середніми \bar{x}_1 та \bar{x}_2 двох залежних або незалежних вибірок.

Для перевірки нульової гіпотези, тобто гіпотези про відсутність вірогідної різниці між значеннями середніх, обчислюють величину t (статистика критерію):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n} + \frac{\sigma_2^2}{m}}}$$

де n та m – розміри 1-ї та 2-ї вибірок відповідно, і порівнюють з табличним значенням, виходячи із заданого рівня значущості ($p = 0,05$ чи $p = 0,01$).

Формула використовується в припущенні, що обидві дисперсії невідомі. Крім цього виділяють ще такі можливості: обидві дисперсії відомі та не відрізняються; обидві дисперсії відомі та різняться між собою; дисперсії невідомі, проте не різняться між собою. Для всіх цих випадків розрахунки t -статистики критерію трохи різняться між собою. Сучасні статистичні пакети мають змогу диференціювати всі ці випадки та обирати потрібний алгоритм.

Якщо не встановлено вірогідної різниці між середніми вибірок, то ще не можна зробити висновок про приналежність вибірок до однієї генеральної сукупності. Необхідно також за допомогою критерію Фішера (F) перевірити рівність дисперсій.

Статистикою цього критерію буде величина: $F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}$, значення якої також порівнюють із табличним для відповідного рівня значущості p .

Якщо не вдалося виявити вірогідної різниці й між дисперсіями, то з рівнем значущості $p (>0,05)$ нульова гіпотеза приймається, тобто визначається, що обидві вибірки взяті з однієї генеральної сукупності. Зазвичай критерій Стьюдента та Фішера об'єднують під однією назвою – t -критерій Стьюдента–Фішера.

Непараметричні методи. Серед непараметричних критеріїв оцінки вірогідності різниці двох вибірок виділяють вісім, які належать до трьох різних груп.

Статистичній перевірці в більшості випадків підлягають висновки про те, що члени однієї вибірки більші за значеннями, ніж члени другої. З математичної точки зору це означає, що дві порівнювані вибірки різняться за своїми середніми тенденціями. Як було зазначено раніше, характеристикою цього може служити середнє арифметичне, медіана тощо.

Для оцінки відмінностей у середніх тенденціях служить п'ять із восьми наступних критеріїв:

- критерій G (критерій знаків);
- критерій T (парний критерій Вілкоксона);
- критерій U (критерій Манна–Уїтні);
- критерій X (критерій ван дер Вардена);
- критерій Q (критерій Розенбаума).

Перші два з них (G і T) використовують для аналізу пов'язаних (парних) вибірок, три інші – для незалежних.

Наступні три критерії:

- точний критерій Фішера;
- серійний критерій r (Вальда–Волфовиця);
- критерій D (критерій Колмогорова–Смірнова).

Дані критерії дають можливість виявити не тільки відмінності в середніх тенденціях, але також будь-які інші. Нерідко в досліджах трапляється ситуація, коли у відгук на дію одного певного фактора спостерігають діаметрально протилежну реакцію: наприклад, у частині випадків артеріальний тиск збільшується, а в іншій – знижується. Вочевидь, що середні арифметичні артеріального тиску в цих вибірках (до й після дії фактора) будуть дуже близькими й різниця між ними невірогідною. Однак розподіли відрізнятимуться, що й відзначать названі критерії.

Точний критерій Фішера використовують у випадках, коли розподіли мають тільки дві градації (наприклад, норма та наявність патології). Якщо ж градацій декілька або досліджуються дві незгруповані вибірки, то для виявлення будь-яких відмінностей у розподілах доцільно застосовувати серійний критерій Вальда–Волфовиця або критерій Колмогорова–Смірнова для двовибіркових задач.

Дамо коротку характеристику критеріїв, названих вище.

Критерій знаків (G)

Даний критерій використовують для оцінки парних спостережень. Він ефективний при великій кількості пар. Враховують не величину різниці значень у кожній парі, а лише направленість різниці, тобто її знак. Характер змін у кожній парі оцінюють в альтернативній формі: зменшення або збільшення, поліпшення або погіршення, що зазвичай позначають знаком «+» або «-».

Для визначення вірогідності різниці між вибірками спочатку визначається типовість зсуву, а потім отриманий результат порівнюється з таблицею критичних точок. Отримане значення порівнюється з табличним: якщо отримане значення G більше табличного, то H_0 приймається, якщо менше – приймається H_1 .

Парний критерій Вілкоксона (T)

Застосовують при незначній кількості пар і якщо критерій G не виявив вірогідної різниці. Заснований на обчисленні різниць величини T – суми рангових номерів різниць значень кожної пари в порівнянні отриманого результату з табличним. Тобто отримуємо різницю «до» та «після», розраховуємо ранги, якщо є нетиповий зсув, то суму цих рангів порівнюємо з табличним значенням. Отримане значення порівнюється з табличним: якщо отримане значення T більше табличного, при заданому рівні значущості p , то H_0 приймається, якщо менше – приймається H_1 .

Критерій Манна–Уїтні (U)

Застосовують при незалежних вибірках. Найзручніший при відносно невеликій кількості спостережень ($n < 60$). Суть критерію полягає в тому, що в ранжованому ряді, складеному з двох порівнюваних вибірок, визначають кількість варіант вибірки X , які передують кожній з варіант вибірки Y . Застосовний тільки у випадках варіант неперервного типу, що практично позбавляє можливості його використання для аналізу напівкількісних даних.

Розрахувати значення U -критерія можна за формулою:

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x \cdot (n_x + 1)}{2} - T_x,$$

де n_1 і n_2 – об'єм 1-ї та 2-ї вибірок відповідно, n_x – ранговий об'єм, T_x – максимальна рангова сума.

Отримане значення порівнюється з табличним: якщо отримане значення U більше табличного, то H_0 приймається, якщо менше – приймається H_1 .

Критерій ван дер Вардена X

Подібний до попереднього критерію, але може деколи використовуватися для аналізу напівкількісних даних.

$$X = \sum_{i=1}^m \psi \left(\frac{s(r_i)}{n_1 + n_2 + 1} \right),$$

де ψ – зворотна функція нормального розподілу з параметрами (0,1), r_i – ранги випадкових величин, n_1 і n_2 – об'єм 1-ї та 2-ї вибірок відповідно, s – заздалегідь обрана функція рангів.

Критерій Розенбаума (Q)

Грунтується на порівнянні упорядкованих рядів спостережень. Не використовується при кількості спостережень $n < 11$, проте не має верхньої межі кількості.

При роботі з даним критерієм потрібно знайти ознаки, які перекликаються в обох вибірках і отримати значення S по кожній з них. Розрахувати емпіричне значення даного критерію і порівняти його з табличним. Якщо отримане значення Q більше табличного, то H_0 не приймається, якщо менше (різниця не вірогідна) – приймається H_0 .

Серійний критерій Вальда–Волфовиця (r)

Застосовується для порівняння невеликих вибірок кількісних ознак при відсутності серед них однакових значень. При роботі з даним критерієм порівнюються значення вибірок, ранжуються, а потім, якщо немає зони накладання цих значень, то приймається H_1 , якщо після ранжування вибірки мають зону перехрещення, то приймається H_0 , тобто різниці немає.

Критерій Колмогорова–Смірнова (D)

Як і попередній критерій r даний критерій застосовується у випадках вибірок з неперервним значеннями варіант, але вимоги щодо відсутності однакових варіант менш суворі. Краще застосовувати до великих вибірок.

$$D = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}} \cdot \max |F_{n_1}(x) - F_{n_2}(x)|,$$

де $F_{n_1}(x)$ і $F_{n_2}(x)$ – емпіричні функції розподілу, n_1 і n_2 – об'єм вибірок

Гіпотеза H_0 не приймається, якщо $D > D_{кр}$ (за таблицею) і навпаки.

Дослідження залежностей

На даному етапі аналізу даних відбувається дослідження залежностей між змінними. З цією метою застосовується кореляційний аналіз (для встановлення факту наявності або відсутності залежності між змінними, вираженою у вигляді числового значення), а також регресійний аналіз (для знаходження кількісної залежності між змінними, вираженою у вигляді рівняння і/або графіка).

Кореляційний аналіз

Кореляція – це взаємозв'язок між двома або більше змінними (в останньому випадку кореляція називається множинною або сукупною). Мета кореляційного аналізу – встановлення наявності або відсутності цього взаємозв'язку. У разі, коли є дві змінні, значення яких виміряні в шкалі відносин, використовується коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона r , який приймає значення від -1 до $+1$ (нульове його значення свідчить про відсутність кореляції). Термін «лінійний» свідчить про те, що досліджується наявність лінійного зв'язку між змінними.

Для даних, виміряних в порядковій шкалі, слід використовувати коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, тому що він є непараметричним і враховує тенденцію – зміни змінних в одному напрямку, який позначається r_s і визначається порівнянням рангів – номерів значень порівнюваних змінних в їх впорядкуванні. Коефіцієнт кореляції Спірмена є менш чутливим, ніж коефіцієнт кореляції Пірсона. Важливо відзначити, що близьке до плюс одиниці або до мінус одиниці значення коефіцієнта кореляції говорить про силу взаємозв'язку змінних, але нічого не говорить про причинно-наслідкові відносини між ними.

Розглянемо більш детально *визначення коефіцієнта кореляції Пірсона*.

Якщо говорити про випадкові величини, то залежність між ними може бути не тільки функціональною. Наприклад, з віком ріст дітей збільшується, тобто очевидним є існування залежності між ростом та віком дітей. Разом з тим ця залежність не є функціональною, тому що при однаковому значенні величини віку величина росту у різних дітей приймає істотно різні значення. Очевидно, що величина росту при заданому віці є неперервною випадковою величиною, яка має деякий розподіл. Отже, залежність між величинами у цьому випадку полягає в тому, що кожному значенню однієї випадкової величини відповідає певний закон розподілу іншої величини. При цьому говорять вже не просто про щільність імовірності випадкової величини, а про її *умовну щільність імовірності*. Наприклад, умовна щільність імовірності величини Y ($f(Y/x)$) – це щільність імовірності

величини Y при вказаному значенні величини X (при $X = x$). Якщо умовна щільність імовірності величини Y ($f(Y/x)$) залежить від X , а умовна щільність імовірності величини X ($\varphi(X/y)$) залежить від Y , то кажуть, що між величинами Y та X існує кореляційна залежність.

Якщо щільність ймовірності випадкової величини Y залежить від значення випадкової величини X , то і математичне сподівання величини Y залежить від цього значення, тобто можна казати про умовне математичне сподівання випадкової величини Y при заданому значенні величини X ($M(Y/x)$). Таким чином, умовне математичне сподівання величини Y є функцією величини X що математично можна записати так:

$$M(Y/x) = \psi(x),$$

де функція $\psi(x)$ називається функцією регресії Y на X .

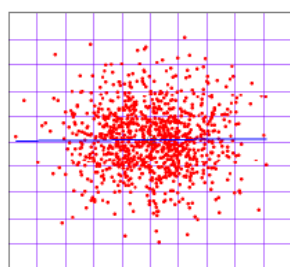
Графік цієї функції називається лінією регресії. Якщо у виразі для $\psi(x)$ присутні які-небудь сталі коефіцієнти, то вони називаються коефіцієнтами регресії. Аналогічно може бути введене поняття функції регресії X на Y , причому в більшості випадків лінії регресії Y на X та X на Y – це різні лінії.

Кореляційний аналіз можна починати з використання графічних методів. Так, нехай є вибірка, що містить n елементів, для кожного з яких визначаються значення випадкових величин Y та X , причому припускається, що між цими величинами є кореляційна залежність. Якщо точки з координатами y_i та x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) нанести на координатну площину XOY , то утвориться так зване кореляційне поле. Візуальне вивчення кореляційного поля найчастіше може стати основою для вибору зручного аналітичного виразу для опису функції регресії. Визначення оптимального аналітичного виразу для функції регресії пов'язане з обчисленням значень коефіцієнтів регресії. Найпростіше задача обчислення значень коефіцієнтів регресії вирішується у випадку лінійної функції регресії, тобто при наявності залежності типу $y = ax + b$. Разом з тим точки кореляційного поля майже ніколи не лягають точно на пряму лінію. Тому, обираючи лінійну функцію як функцію регресії, необхідно попередньо з'ясувати питання про те, наскільки обґрунтоване припущення про лінійність функції регресії. З цією метою, виходячи з експериментальних даних, знаходять вибіркочну оцінку коефіцієнта кореляції (вибірковий коефіцієнт кореляції), використовуючи формулу:

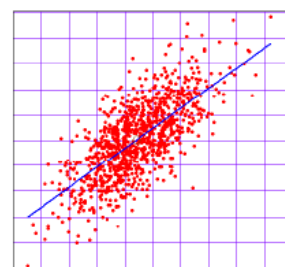
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(n-1) \cdot S(X) \cdot S(Y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2\right)}}$$

де R – вибірковий коефіцієнт кореляції.

Значення вибіркового коефіцієнта кореляції лежать в інтервалі $-1 \leq R \leq 1$. Якщо $R > 0$, то функції регресії Y на X та X на Y – це зростаючі функції, а якщо $R < 0$ – спадні. Чим ближче значення $|R|$ до одиниці, тим тісніше точки кореляційного поля згруповані навколо прямої регресії, тобто тим більше підстав вважати функцію регресії лінійною. У цьому випадку кажуть про сильну кореляційну залежність. Чим ближче значення R до нуля, тим гірше точки кореляційного поля лягають на пряму і тим менше підстав вважати функцію регресії лінійною (рис. 7.7).



Відсутність кореляції



Наявність лінійної кореляції

Рис. 7.7. Кореляційне поле

Разом з тим невеликі за модулем значення коефіцієнта кореляції зовсім не обов'язково означають відсутність кореляційної залежності між величинами Y та X , вони лише означають, що немає достатніх підстав вважати цю залежність лінійною. Таким чином, коефіцієнт кореляції є мірою ступеня лінійності залежності між випадковими величинами, але не мірою ступеня залежності між цими величинами взагалі.

При визначенні функції регресії прийнято вважати оптимальними ті оцінки коефіцієнтів регресії, які отримані при застосуванні методу найменших квадратів.

Суть методу найменших квадратів полягає в тому, що оптимальним значенням коефіцієнтів регресії для функції $y = \psi(x)$, вважаються ті, для яких сума $\sum_{i=1}^n (y_i - \psi(x_i))^2$ приймає найменше значення. В окремому випадку лінійної регресії виду $\psi(x) = ax + b$ значення коефіцієнтів a та b визначають, мінімізуючи суму $\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2$.

Для цього знаходять частинні похідні виразу за a та за b , прирівнюють ці похідні до нуля та вирішують отриману систему рівнянь. У підсумку для оптимальних вибіркового оцінок коефіцієнтів регресії a та b одержують такі вирази:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2}; \quad b = \frac{\bar{y} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x} \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2}.$$

З урахуванням виразу останні вирази можна перетворити до вигляду:

$$a = R \frac{S(Y)}{S(X)}; \quad b = \bar{y} - a\bar{x}.$$

У випадку регресії X на Y функція регресії має такий вигляд:

$$\xi(y) = a_1 y + b_1,$$

а коефіцієнти регресії a_1 та b_1 обчислюються за формулами:

$$a_1 = R \frac{S(X)}{S(Y)}; \quad b_1 = \bar{x} - a_1 \bar{y}.$$

Нагадаємо, що розглянутий метод статистичного вивчення зв'язку між характеристиками вибірки застосовується тільки в тому випадку, якщо ці характеристики є кількісними. Разом з тим можливі ситуації, коли одна або кілька характеристик, між якими припускається наявність зв'язку, є якісними.

Тепер стисло розглянемо методи оцінки кореляційної залежності у випадку, якщо хоча б одна з ознак є якісною (не кількісною). Кожному елементу вибірки надається значення рангів для кожної з тих характеристик, для яких припускається наявність кореляційного зв'язку. Далі попарно аналізуються ознаки, для яких припускається наявність зв'язку. Нехай для якоїсь з таких пар x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – це значення рангу за однією ознакою для i -го елемента вибірки (n – об'єм вибірки), а y_i – значення рангу за іншою ознакою для того ж елемента вибірки. Для перевірки наявності кореляційної залежності між досліджуваними ознаками обчислюють коефіцієнт рангової кореляції (коефіцієнт кореляції *Спірмена*) за формулою:

$$R = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n(n^2 - 1)}.$$

Аналогічно коефіцієнту кореляції Пірсона коефіцієнт кореляції Спірмена є мірою ступеня кореляційної залежності між ознаками, причому, чим більше за модулем коефіцієнт кореляції, тим тісніше ця залежність.

Регресійний аналіз

На відміну від кореляційного, регресійний аналіз не тільки говорить про наявність залежності між незалежною змінною і однією або кількома залежними змінними, але і дозволяє визначити цю залежність кількісно. Незалежні змінні називають регресорами або предикторами, а залежні змінні – критеріальними. Знову ж термінологія залежних і незалежних змінних відображає лише математичну залежність змінних, а не причинно-наслідкові зв'язки.

Найбільш простим рівнянням регресії, яке найчастіше використовується в медико-біологічних дослідженнях для опису залежності змінної Y від одного аргументу X , є лінійна функція (рис. 7.8):

$$y(x) = a + bx,$$

де a і b – параметри моделі.

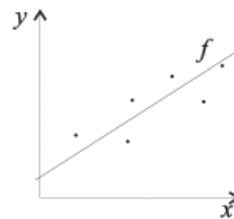


Рис. 7.8. Лінія регресії

Якщо досліджується функція Y від декількох змінних X і є підстави припустити лінійний характер її зміни, то рівняння регресії зазвичай записується у вигляді:

$$y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + a,$$

де x – предиктори, a і b – коефіцієнти моделі.

Існує кілька видів лінійного та нелінійного регресійного аналізу, що дозволяють виявити математичну залежність між декількома змінними, однак всі ці методи є параметричними, що унеможливує їх застосування для обробки якісних даних. Непараметричним аналогом множинної регресії є логістична регресія з двома градаціями залежної ознаки (бінарна логістична регресія) і більше (мультиномінальна логістична регресія).

Бінарна логістична регресія

За допомогою методу бінарної логістичної регресії можна досліджувати залежність дихотомічних (бінарних, що мають тільки 2 категоріальних значення) змінних від незалежних змінних, що мають будь-який вид шкали. Як правило, у випадку з дихотомічними змінними мова йде про деяку подію, яка може відбутися або не відбутися. Бінарна логістична регресія в такому випадку розраховує ймовірність настання події залежно від значень незалежних змінних з висновком коефіцієнтів регресії для кожної такої змінної і її статистичної значущості.

Ймовірність настання бінарної події розраховується за формулою:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}},$$

де $z = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + a$; X_i – значення незалежних змінних; b_i – коефіцієнти, розрахунок яких є завданням бінарної логістичної регресії; a – константа отриманого регресійного рівняння.

Якщо розрахована ймовірність має значення менше 0,5, то можна припустити, що подія не настане. В іншому випадку передбачається настання події.

Експоненти коефіцієнтів логістичної регресії з урахуванням 95 % довірчого інтервалу використовуються як відношення шансів як оцінки ймовірності настання досліджуваної бінарної події за заданою змінною в сукупності всіх представлених статистично значущих змінних.

Оцінка адекватності моделі бінарної логістичної регресії.

Точність результатів розрахунку логістичної регресії цілком і повністю залежить від вибірки, на підставі якої розраховувалися коефіцієнти в рівнянні логістичної регресії. Таким чином, побудована модель вимагає перевірки її адекватності.

Найпростішим способом оцінки адекватності моделі є перевірка цієї моделі на вихідні дані і порівняння отриманих даних з попередньо використовуваними наслідками («вихідними наслідками»). Оцінка виражається як відсоток спостережень з наслідками, вірно передбаченими за допомогою моделі регресії.

Перевірка значущості відмінності коефіцієнтів від нуля проводиться за допомогою статистики Вальда, що використовує розподіл χ^2 і являє собою квадрат відношення відповідного коефіцієнта до його стандартної помилки:

$$W_i = \left(\frac{a_i}{s_i} \right)^2,$$

де s_i – стандартна помилка.

Якість наближення регресійної моделі до гіпотетично реальної оцінюється за допомогою функції подібності. Мірою правдоподібності слугує негативне подвоєне значення логарифму цієї функції:

$$G = -2(LL_{null} - LL_k),$$

де LL_{null} – логарифм правдоподібності математичної моделі, яка складається тільки з константи; LL_k – логарифм правдоподібності математичної моделі, яка складається з k предикторів.

Як початкове значення для $-2LL$ застосовується значення, яке може відбуватись в регресійній моделі, що містить тільки константи. Ця величина має розподіл χ^2 – Пірсона і показує рівень узгодженості моделі регресії з усіма незалежними змінними.

Крім того, треба визначити загальну оцінку згоди між впливом виявлених у моделі показників і реально зафіксованим показником погіршення стану. Для цього використовувався тест згоди Хосмера–Лемешова (H_L), у якому чим менші відмінності спостерігаються між частотою і передбаченими на основі даної моделі результатами, тим вище значення p :

$$H_L = \sum_{k=1}^g \frac{(O_k - E_k)^2}{E_k \cdot \left(1 - \frac{E_k}{n_k}\right)}$$

де n_k – кількість спостережень у k -тій групі; $O_k = \sum_i y_{ik}$ – спостережуване число випадків у k -тій групі; $E_k = \sum_i p_{ik}$ – очікуване число випадків у k -тій групі.

Зниження розмірності

У медичних дослідженнях завжди є велика загальна кількість досліджуваних зв'язків. Однак багато з них будуть статистично незначущими, і за відсутності клінічної значущості їх не треба брати до уваги та інтерпретувати. Наскільки ж буде цінним з точки зору поставленої мети дослідження взаємозв'язків заздалегідь припустити неможливо. Як правило, статистично і клінічно значущими виявляється 5–25 % всіх можливих зв'язків.

Крім того, багато показників можуть мати між собою по-різному виражені залежності. Використовуючи їх як вихідну підмножину ознак можна поставити і вирішити задачу конструювання на їх основі більш складних, інтегрованих ознак за допомогою факторного аналізу. При цьому число таких комплексних ознак (факторів) буде значно менше, ніж число вихідних ознак. Внаслідок цієї процедури ми отримуємо нові ознаки, які стисло несуть у собі набагато більший обсяг інформації, ніж кожна з вихідних ознак окремо. У результаті з'являється можливість відфільтрувати випадкову складову і отримати більш надійну інформацію про структуру як самих вихідних ознак, так і про структуру досліджуваних груп пацієнтів.

Факторний аналіз – це процедура, за допомогою якої велику кількість змінних, що відносяться до наявних спостережень, зводять до меншої кількості незалежних величин, так званих факторів (факторні комплекси, компоненти). При цьому в один фактор об'єднуються змінні, які сильно корелюють між собою.

Змінні з різних факторів слабо корелюють між собою. Таким чином, метою факторного аналізу є виявлення таких комплексних факторів, які якомога повно пояснюють спостережувані зв'язки між змінними, що є в наявності. За допомогою факторного аналізу можливе виявлення прихованих (латентних) змінних факторів, що відповідають за наявність лінійних статистичних зв'язків (кореляцій) між змінними що спостерігаються.

Виділення головних компонентів в факторному аналізі проводиться по діаграмі розсіювання досліджуваних змінних. Процедура виділення головних компонентів подібна обертанню, що доводить до максимуму дисперсію (так званий варимакс) вихідного простору змінних. Наприклад, на діаграмі розсіювання ви можете розглядати лінію регресії як вісь X, повернувши її так, що вона буде збігатися з прямою регресії. Цей тип називається обертанням, що максимізує дисперсію, оскільки критерій (мета) обертання полягає в максимізації дисперсії (мінливості) «нової» змінної (фактора, факторного комплексу) і мінімізації розкиду навколо неї.

Після того, як знайдена лінія, для якої дисперсія максимальна, навколо неї залишається деякий розкид даних. І процедура повторюється. В аналізі головних компонентів саме так і робиться: після того, як перший фактор виділений, тобто після того, як перша лінія проведена, визначається наступна лінія, що максимізує залишкову варіацію (розкид даних навколо першої прямої), і т. д. Таким чином, компоненти (фактори) послідовно виділяються один за іншим. Оскільки кожний наступний чинник визначається так, щоб максимізувати мінливість, що залишилася від попередніх, то чинники виявляються незалежними один від одного. Іншими словами, некорельованими або ортогональними. При повторних ітераціях виділяються чинники все з меншою і меншою дисперсією.

Рішення про зупинення процедури виділення факторів приймається на підставі двох найбільш поширених рекомендацій: критерію Кайзера і критерію кам'янистої осипи.

Критерій Кайзера. Якщо фактор не виділяє дисперсію, що еквівалентна принаймні дисперсії однієї змінної, то він опускається. Цей критерій запропонований Кайзером (Kaiser, 1960) і є, ймовірно, найбільш розповсюдженим (табл. 7.2).

Таблиця 7.2

Критерій Кайзера

Власні значення кореляційної матриці (критерій Кайзера)			
Початкові власні значення	Початкові власні значення	Початкові власні значення	Сумарний %
1	10,732	48,699	48,699
2	5,939	20,941	68,640
3	2,009	12,360	81,000
4	1,167	9,020	90,020
5	0,031	3,642	93,662
...
35	0,002	0,003	100,000

Критерій кам'янистої осипи. Критерій кам'янистої осипи є графічним методом, вперше запропонованим Кеттела (Cattell, 1966). Власні значення (факторну навантаження) можна відобразити у вигляді простого графіка (рис. 7.9). Компоненто формуючим числом на графіку є місце, де спадання власних значень зліва направо являє собою крутий схил, відстань між точками приблизно дорівнює одиниці і власне значення компоненти більше одиниці.

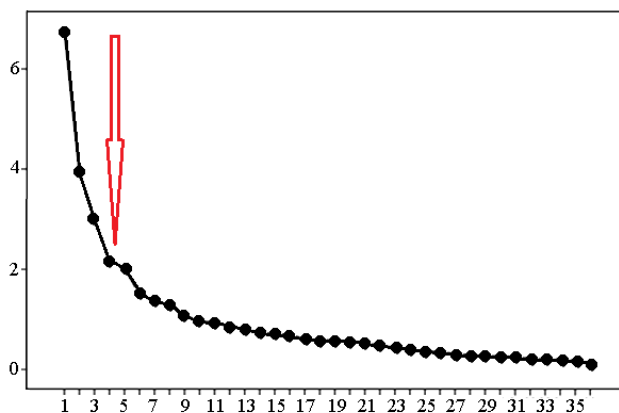


Рис. 7.9. Графік власних значень

Незначні компоненти знаходяться далі на максимально сповільненій частині кривої, відстань між точками менше одиниці і власне значення компоненти менше одиниці, так званий «щебінь».

Перший критерій (критерій Кайзера) часто зберігає занадто багато факторів, у той час як другий критерій (критерій кам'янистої осипи) може зберегти занадто мало чинників. Проте обидва критерії цілком хороші при умовах, коли є відносно невелике число факторних комплексів (моделей) і багато змінних. На практиці виникає важливе додаткове питання: яка кількість компонентів може бути змістовно інтерпретована. Тому зазвичай досліджується кілька рішень з більшим чи меншим числом факторних комплексів, і потім вибирається одне найбільш «осмислене» і клінічно значиме.

Оцінка досліджуваної змінної в новому факторному комплексі (компоненті) представляється в матриці компонентів векторним навантаженням змінної, яка по суті своїй є кореляційним коефіцієнтом взаємозв'язку змінної і нового факторного комплексу (компонента) (табл. 7.3).

Таблиця 7.3

Матриця факторних навантажень, отримана методом обертання нормалізованого варимаксу

	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
X ₁₄	0,966	0,132	0,046	0,056
X ₃₅	0,885	0,038	0,009	0,138
X ₁₉	0,848	0,206	0,074	0,099
X ₈	0,721	0,017	-0,012	0,047
X ₁₂	0,185	0,908	0,013	0,087
X ₁₃	0,165	0,885	-0,010	0,129
X ₂₅	0,103	0,833	-0,014	0,076
X ₂₀	0,079	-0,033	0,877	-0,021
X ₃₂	0,034	-0,055	0,741	-0,031
X ₉	0,047	0,019	0,710	0,054
X ₃	0,051	0,028	-0,080	0,825
X ₂	0,034	0,060	0,037	0,771
X ₃₃	0,086	0,108	0,100	0,767

Визначення значень факторів:

$$F = \sum_{i=1}^n a_i \cdot Z_i ,$$

де F – фактор; a – факторне навантаження стандартизованої змінної; Z – стандартизована змінна; n – кількість стандартизованих змінних, що увійшли до фактора.

Класифікація і прогноз

Важливим завданням статистичного аналізу даних є класифікація. Прийнято виділяти три підгалузі теорії класифікації: дискримінація (дискримінантний аналіз) і кластеризація (кластерний аналіз), угруповання.

Дискримінантний аналіз

У дискримінантному аналізі класи (групи) передбачаються вже заданими, а завдання полягає в тому, щоб новий об'єкт, який з'являється, віднести до одного з цих класів на підставі значення якоїсь змінної. Основна ідея дискримінантного аналізу полягає в тому, щоб визначити, чи відрізняються різні сукупності за середнім будь-якої змінної, і потім використовувати цю змінну, щоб передбачити для нових членів їх приналежність до тієї чи іншої групи. Таким чином, завжди апіорна класифікація (прогноз для нових об'єктів) будується на підставі значення ваг класифікації, побудованих за допомогою функції класифікації на основі апостеріорної (на основі наявних даних) класифікації.

$$DF(X) = a + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

де x – предиктори; a і b – коефіцієнти моделі; DF – значення канонічної дискримінантної функції.

Отримані дискримінантні функції перевіряються на адекватність коефіцієнтом канонічної кореляції r та λ -статистикою Уїлкса:

$$r_i = \sqrt{\frac{\lambda_i}{1 + \lambda_i}},$$

де i – номер відповідної дискримінантної функції; λ_i – власне значення.

$$\lambda_i^* = \prod_{i=k+1}^g \frac{1}{1 + \lambda_i},$$

де k – кількість обчислених функцій; λ_i – власне значення.

Крім того, для перевірки якості отриманих функцій використовується критеріальне значення χ^2 , яке порівнюється з критичним значенням.

$$\chi_i^2 = - \left[n - \left(\frac{p+g}{2} \right) - 1 \right] \ln \lambda_i^*.$$

Для отримання класів (груп) обчислюється центроїд:

$$df_k = \frac{\sum_{j=1}^{n_k} DF_{kj}}{n_k}.$$

Клас навколо центроїду формується за допомогою відстані Махаланобіса. Відстань Махаланобіса (D_m) від багатовимірного вектора $x = (x_1, \dots, x_n)$ T до безлічі з вектором середнього $\mu = (\mu_1, \dots, \mu_n)$ T і матрицею коваріації S .

$$D_m = \sqrt{(x - \mu)^T S^{-1} (x - \mu)},$$

де x – вектор характеристик вхідних даних; μ – вектор середніх для деякого класу даних; S – об'єднана коваріаційна матриця.

При використанні функції відстані Махаланобіса об'єкт відносять до тієї групи, для якої відстань найменша (рис. 7.10).

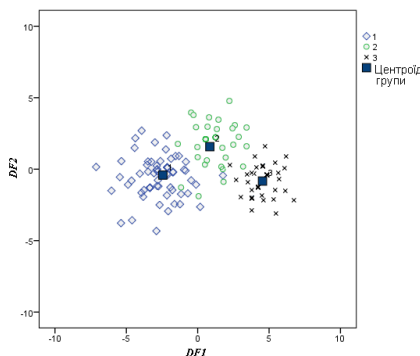


Рис. 7.10. Графік розподілу груп

Подібний підхід до класифікації містить у собі кілька значних обмежень. По-перше, дискримінантний аналіз вимагає, щоб класи були задані заздалегідь, що в деяких випадках може бути складно, і по-друге, результати апіорної класифікації (для нових спостережень) завжди менш точні, ніж результати апостеріорної класифікації. До того ж використання середнього в дискримінантному аналізі передбачає нормальний розподіл аналізованих вибірок.

Кластерний аналіз

На відміну від попереднього метода, кластерний аналіз призначений для побудови структури класів на підставі даних вибірки та ідеально підходить для задачі побудови класифікації в рамках вторинного аналізу даних.

Кластерний аналіз є методом пошуку закономірностей групування, як об'єктів дослідження, так і ознак в окремі локальні підмножини (кластери).

Завдання кластерного аналізу полягає у виділенні за емпіричними даними груп, які значно різняться, і об'єктів, які схожі між собою всередині кожної з груп. За допомогою кластерного аналізу можна проводити угруповання об'єктів дослідження в кластери, угруповання ознак в кластери (редукція числа змінних), одночасне угруповання об'єктів дослідження і ознак.

Угруповання об'єктів дослідження в кластери застосовується в тих випадках, коли передбачається, що наявна вибірка гетерогенна, але причина гетерогенності при цьому невідома. Результатом застосування процедури кластеризації може бути формування декількох підгруп (кластерів) об'єктів дослідження, в кожній з яких містяться подібні спостереження. Подальший аналіз підгруп може виявити деякі об'єктивні ознаки, за якими ці підгрупи розрізняються.

Угруповання ознак в кластери застосовується на досить однорідній вибірці з метою пошуку невідомих закономірностей зв'язку ознак (або груп ознак). Результатом може бути формування декількох груп ознак, в кожній з яких містяться ознаки, що виявили статистично значущі взаємозв'язки.

Дослідження, що використовують кластерний аналіз, характеризують наступні п'ять основних кроків:

- 1) відбір вибірки для кластеризації;
- 2) визначення безлічі ознак, за якими будуть оцінюватися об'єкти у вибірці, і спосіб їх стандартизації;
- 3) обчислення значень тієї чи іншої міри подібності між об'єктами;
- 4) застосування методу кластерного аналізу для створення груп схожих об'єктів;
- 5) перевірка достовірності результатів кластерного рішення.

Найбільш часто використовуються алгоритми кластеризації: ієрархічний кластерний аналіз і кластеризація методом k -середніх.

В ієрархічних методах кожне спостереження утворює спочатку свій окремий кластер, що складається з одного об'єкта. На першому кроці два сусідніх кластери об'єднуються в один. Цей процес може тривати доти, поки не залишаться тільки два кластери. Відстань між кластерами є середнім значенням всіх відстаней між усіма можливими парами точок з обох кластерів. Для визначення кількості кластерів, яку слід було б вважати оптимальною, вирішальне значення має відстань між двома кластерами, визначена на підставі обраної дистанційної міри з урахуванням передбаченого перетворення значень. Для метричних даних це квадрат евклідової відстані, визначений з використанням стандартизованих значень. На етапі, коли міра відстані між двома кластерами збільшується стрибкоподібно, процес об'єднання в нові кластери необхідно зупинити, тому що в протилежному разі будуть об'єднані вже кластери, що знаходяться на відносно великій відстані один від одного. Результат ієрархічної кластеризації часто представляють графічному вигляді (рис. 7.11).

Якщо кількість кластерів k , яку необхідно отримати в результаті об'єднання, задано заздалегідь, то перші k спостереження використовуються як перші кластери. На наступних кроках кластерний центр замінюється спостереженням, якщо найменша відстань від нього до кластерного центру більша за відстань між двома найближчими кластерами. За цим правилом замінюється той кластерний центр, який знаходиться найближче до даного спостереження. В результаті виходить новий набір вихідних кластерних центрів. Для завершення кроку процедури розраховується нове положення кластерних центрів, а спостереження перерозподіляються між кластерами зі зміненими центрами. Цей ітераційний процес триває доти, поки кластерні центри не перестануть змінювати своє положення або поки не буде досягнуто максимальної кількості ітерацій.

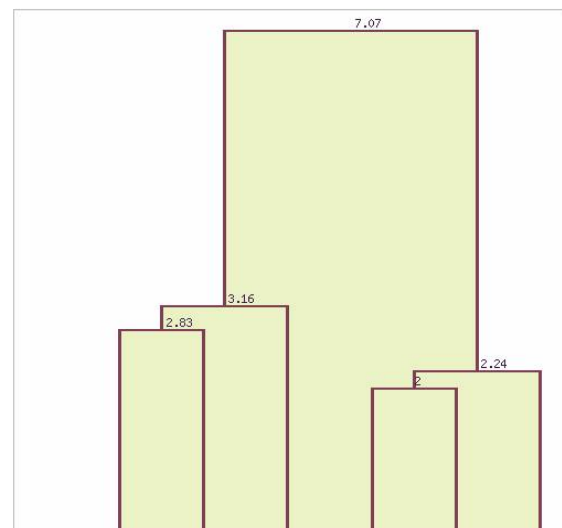


Рис. 7.11 Дендрограма кластерів

Для формування кластерів використовують міру відстані. Найчастіше для цього застосують евклідову міру, так звану евклідову відстань. Для точок a і b цю відстань розраховують за формулою:

$$D(a,b) = \sqrt{(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + \dots + (a_n - b_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2},$$

де a і b – об'єкти, між якими розраховується відстань.

Різні кластерні методи дають різні рішення для одних і тих же даних. Це звичайне явище в більшості прикладних досліджень.

Мета кластерного аналізу полягає в пошуку існуючих угруповань даних. У той же час структуризація даних може призводити до породження артефактів.

Як один із можливих способів перевірки стійкості результатів кластерного аналізу може бути використаний метод порівняння результатів отриманих для різних алгоритмів кластеризації. Інший засіб перевірки стійкості кластерного рішення може полягати в тому, щоб вихідну вибірку випадковим чином розділити на дві приблизно рівні частини, провести кластеризацію обох частин і потім порівняти отримані результати.

Угрупування

Інколи використовують метод угруповання. При цьому підході поділ на групи проводиться умовно самим дослідником. На цьому принципі засноване когортне дослідження.

Когортне дослідження – це обсерваційне дослідження, в якому виділену групу людей (когорту) спостерігають протягом деякого часу. Результати випробування в різних підгрупах даної когорти порівнюють. У проспективному когортному дослідженні когорти складають в сьогоденні і спостерігають їх в майбутньому. У ретроспективному (або історичному) когортному дослідженні когорту підбирають за архівними записами і простежують їх результати від того моменту і дотепер.

Когортні дослідження можуть бути або фіксованими, або динамічними. У фіксованій когорті кількість пацієнтів залишається незмінною. У динамічних когортах можливо як видалення пацієнтів з когорти, так і включення нових пацієнтів у когорту.

Головним недоліком когортних досліджень є їх висока вартість, викликана як необхідністю формування великих вибірок, так і тривалістю спостереження за хворими.

Перевірка статистичних гіпотез

Проведення точкового та інтервального оцінювання статистичних характеристик досліджуваних сукупностей є найпоширенішим початковим етапом статистичного аналізу даних. Наступний етап може бути пов'язаний з висунуванням та перевіркою яких-небудь гіпотез про досліджувані сукупності. *Перевірка статистичних гіпотез* – великий важливий розділ математичної статистики.

Статистична гіпотеза (позначимо її H_0) – це гіпотеза про передбачуваний вигляд розподілу ймовірностей, якій досліджується, або гіпотеза про значення параметрів цього розподілу. Наприклад, можуть перевірятися гіпотези про незалежність двох випадкових величин, про рівність параметрів розподілів та ін. Використовуючи вибірку обчислюють підходящу функцію (позначимо її T) величин x_1, x_2, \dots, x_n , яку називають статистикою, тобто $T = T(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Формулюється *критерій статистичної гіпотези (H)*, тобто правило, що дозволяє відкинути або не відкинути гіпотезу H_0 на підставі вибірки. Критерій визначає критичну область значень статистики T таку, що гіпотеза H_0 відкидається, якщо значення T належить критичній області і не відкидається в іншому випадку.

Описане правило прийняття або відкидання гіпотези не визначає однозначно правильність або помилковість гіпотези. Тут можливі чотири випадки:

- 1) гіпотеза H_0 вірна і приймається згідно з критерієм (ймовірність цього позначимо α);
- 2) гіпотеза H_0 невірна і відкидається згідно з критерієм (ймовірність цього позначимо $1-\beta$);
- 3) гіпотеза H_0 вірна, але відкидається згідно з критерієм (у цьому випадку говорять про помилку першого роду; ймовірність цього позначимо P ; ця ймовірність називається рівнем значущості даного критерію і дорівнює $1-\alpha$);
- 4) гіпотеза H_0 невірна, але приймається згідно з критерієм (у цьому випадку говорять про помилку другого роду; ймовірність її дорівнює β).

Часто чинять у такий спосіб: з розподілу статистики T знаходять табличне критичне значення T_0 , яке залежить від P – заздалегідь заданого рівня значущості (у медико-біологічних дослідженнях він зазвичай приймається рівним 0,01 або 0,05) – і перевіряється нерівність $T \leq T_0$. Якщо це справджується, то гіпотеза H_0 приймається. Якщо все ж з'ясується, що $T > T_0$, то висунута гіпотеза H_0 відкидається.

Нехай, наприклад, перевіряється гіпотеза про те, що незалежні результати спостережень x_1, \dots, x_n підкоряються нормальному розподілу із середнім значенням $a = a_0$ при відомій дисперсії σ^2 .

Для перевірки цієї гіпотези знаходиться середнє вибіркоче \bar{x} і обчислюється статистика критерію T за формулою:

$$T = \sqrt{n} \frac{\bar{x} - a_0}{\sigma}.$$

Ми ознайомимося з однією простою задачею цього типу – перевіркою гіпотези про вірогідність різниці середніх значень у двох вибіркових сукупностях. Ця задача часто трапляється на практиці, якщо у вибірок, отриманих при будь-яких різних умовах (наприклад, на елементи однієї вибірки впливав якийсь фактор, а на елементи іншої – ні), виявляються різними значення середніх вибіркових та потрібно з'ясувати, чи є ці розходження випадковими або вони є результатом впливу згаданих різних умов одержання вибірок. Іншими словами, необхідно з'ясувати, чи відносяться досліджувані вибірки до однієї генеральної сукупності та, отже, відмінності між середніми вибірковими цих вибірок є випадковими, або ці розходження вірогідні, тобто вибірки відносяться до різних генеральних сукупностей. Для відповіді на сформульоване питання використовується така процедура аналізу вибірок. Обчислюються величини:

$$k = n_1 + n_2 - 2; H = (n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2;$$

$$T = \sqrt{\frac{n_1 n_2 k}{(n_1 + n_2) H}} \cdot |\bar{x}_1 - \bar{x}_2|,$$

де k – число ступенів волі; n_1 та n_2 – об'єми вибірок, що порівнюються; S_1 та S_2 – вибіркові оцінки середніх квадратичних відхилень першої та другої вибірок відповідно; \bar{x}_1 та \bar{x}_2 – середні вибіркові. За таблицею значень коефіцієнта Стюдента для обчисленого значення k та необхідного p визначають значення коефіцієнта Стюдента t . Якщо $T > t$, то можна казати про те, що різниця середніх вибіркових вірогідна, тобто вона не може бути пояснена випадковими факторами та є наслідком відмінності генеральних сукупностей, з яких відбиралися вибірки. Якщо $T < t$, то різниця не є вірогідною.

Якщо об'єми обох вибірок великі та приблизно рівні між собою, то для обчислення T можна використовувати більш просту формулу:

$$T = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}},$$

де m_1 та m_2 – похибки середнього для першої та другої вибірок, відповідно.

Підкреслимо, що розглянутий метод визначення вірогідності різниці двох вибіркових середніх строго справедливий тільки тоді, коли величини X_1 та X_2 мають нормальний розподіл та їхні дисперсії рівні.

Якби можна було розглянути не єдину наявну в розпорядженні вибірку, а всі аналогічні вибірки з генеральної сукупності, то статистика T була б нормально розподіленою випадковою величиною T з параметрами розподілу ($a = 0$; $\sigma^2 = 1$). Задаючи рівень значущості p (наприклад, 0,05), за відповідними таблицями нормального розподілу можна знайти критичне значення T_0 (в даному випадку воно дорівнює 1,96).

Якщо T виявиться більше, ніж T_0 , то висунута гіпотеза про те, що вибірка взята з генеральної сукупності з середнім значенням $a = 0$ відкидається.

Вертаючись до помилок першого і другого роду, відзначимо, що для медика зазвичай більш істотною є помилка першого роду – істинно хворий визнаний здоровим (помилково відкинута гіпотеза про хворобу). Однак не менш жалюгідною може виявитися і помилка другого роду – визнати здорову людину хворою (помилково прийнята гіпотеза) і почати її лікувати. Природно вимагати, щоб критерій для перевірки даної гіпотези приводив якомога рідше до помилкових рішень.

Звичайна процедура побудови найкращого критерію полягає у виборі серед всіх критеріїв із заданим рівнем значущості p (ймовірність помилково відкинути) такого, який мав би найменшу ймовірність помилки 2-го роду β (помилково прийняти), тобто бажано мати найбільшу ймовірність відхилити помилкову гіпотезу. Звичайно, бажано мінімізувати обидві помилки одночасно, але при заданому обсязі вибірки це неможливо, оскільки при зменшенні величини однієї з них неминуче буде зростати величина іншої.

Зазначимо, що рівень значущості – це максимально прийнятна для дослідника ймовірність помилково відхилити гіпотезу H_0 , коли насправді вона вірна, тобто величина помилки першого роду, яка допускається дослідником. Величина рівня значущості встановлюється дослідником довільно, проте зазвичай приймається 0,05 або 0,01, або 0,001.

Величина β -помилки залежить від величини очікуваного ефекту і обсягу вибірки. Часто величина β -помилки задається значенням 0,2. З урахуванням допустимого рівня цього параметра існує можливість розрахувати обсяг вибірки, що необхідна для виявлення ефекту певної величини.

Приклад 1. Вимірювання вмісту загального білка (y %) у сироватці крові хворих дало такі результати: 5,34; 5,88; 5,38; 5,84; 6,60; 6,80; 6,26; 6,74; 6,42; 5,66; 6,56; 5,58. Знайти точкові оцінки математичного сподівання вмісту загального білка, його дисперсії та середнього квадратичного відхилення.

За формулою $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, ($n = 12$) знаходимо середнє вибіркоче вмісту загального білка:

$$\bar{x} = \frac{5,34 + 5,88 + \dots + 5,58}{12} = 6,08\% .$$

Вибіркова оцінка дисперсії дорівнює:

$$S^2(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{12-1} ((5,34 - 6,08)^2 + (5,88 - 6,08)^2 + \dots + (5,58 - 6,08)^2) \approx 0,29 .$$

Звідси вибіркочну оцінку середнього квадратичного відхилення знайдемо, як

$$S = \sqrt{0,29} = 0,54 .$$

Приклад 2. Для перевірки ваги були відібрані і зважені 20 м'ячів. Отримані наступні результати (в грамах):

246	247	247,3	247,4	251,7	252,5	252,6	252,8	252,8	252,9
253	253,6	254,6	254,7	254,8	256,1	256,3	256,8	257,4	259,2

Знайти довірчий інтервал для математичного очікування з надійністю 0,95, припускаючи, що вимірювана величина розподілена нормально.

Знаходимо точкові оцінки $M(x)$, $D(x)$, $\sigma(x)$.

$$M(x) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} x_i = 252,98 ;$$

$$D(x) = S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{20-1} \sum_{i=1}^{20} (x_i - \bar{x})^2 = 13,3 ;$$

$$\sigma = S = 3,65 .$$

Визначаємо за таблицею розподілу Ст'юдента (таблиця) для довірчої ймовірності $\alpha = 0,95$ і числа ступенів свободи $(n-1) = 19$ відповідне значення $t_\alpha = 2,093$ і за формулою:

$$\bar{x} - t(\alpha, k) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \leq M(X) \leq \bar{x} + t(\alpha, k) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} .$$

Знаходимо шуканий інтервал:

$$252,98 - \frac{2,093 \cdot 3,65}{\sqrt{20}} \leq M(x) \leq 252,98 + \frac{2,093 \cdot 3,65}{\sqrt{20}} ;$$

$$251,27 \leq M(x) \leq 254,69 .$$

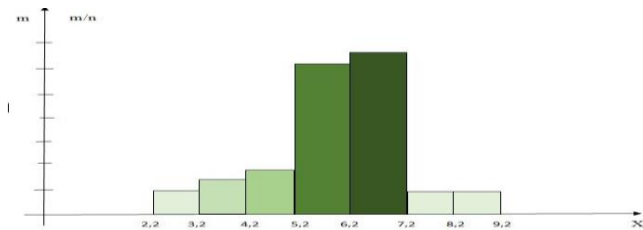
Приклад 3. Із генеральної сукупності зроблено вибірку обсягом $n=32$. Здобуто такі реалізації випадкової величини: 2,2; 7,1; 6,3; 3,9; 5,9; 5,6; 4,7; 7,9; 3,2; 6,1; 5,5; 6,4; 6,0; 6,9; 4,7; 6,4; 6,9; 6,7; 7,9; 4,2; 6,7; 6,0; 9,2; 5,5; 6,5; 3,5; 4,9; 7,2; 4,9; 8,9; 5,7. Скласти інтервальний ряд і побудувати гістограму. Запропонувати гіпотезу про вигляд $F(x)$ у сукупності. За допомогою умовних моментів знайти \bar{X} , S^2 .

Для побудови інтервального ряду розбиваємо область реалізації на 7 інтервалів з однаковими довжинами інтервалів: $\Delta x = \frac{\max(x_i) - \min(x_i)}{7}$; $\Delta x = \frac{9,2 - 2,2}{7} = 1$. Частоти інтервалу знайдемо, визначивши для кожного значення інтервал. Якщо значення x_i потрапляє на межу, то збільшуємо на 1 частоту нижнього інтервалу.

Інтервал	2,2–3,2	3,2–4,2	4,2–5,2	5,2–6,2	6,2–7,2	7,2–8,2	8,2–9,2
Частота	2	3	4	9	10	2	2

Згідно зі знайденим рядом будемо гистограму.

На підставі побудованої гистограми можна висунути гіпотезу про нормальний закон розподілу в сукупності



Приклад 4. У цеху встановлено 5 верстатів. Протягом 25 днів реєструвалась кількість верстатів, які не працювали. Здобуто такі значення: 0, 1, 2, 1, 1, 2, 3, 2, 1, 4, 2, 0, 0, 2, 2, 3, 3, 1, 0, 1, 2, 1, 3, 5, 0. Обчислити \bar{x} і S^2 . На підставі вибірових даних складемо статистичний ряд:

X	0	1	2	3	4	5
Частоти	5	7	7	4	1	1

Знайдемо числові характеристики вибіркової сукупності.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i \cdot n_i = \frac{1}{25} (7 + 14 + 12 + 4 + 5) = 1,68.$$

Для визначення дисперсії $D(x) = S^2$ знайдемо середнє значення квадрата x :

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{25} (7 + 28 + 36 + 16 + 25) = 4,48.$$

$$\text{Отже, } S^2 = 4,48 - (1,68)^2 = 1,6576.$$

Приклад 5. Середнє значення та середнє квадратичне відхилення частоти дихання для однієї групи хворих ($n = 24$) становлять $\bar{x}_1 = 24$ та $S_1 = 5$ відповідно, а для іншої групи ($n = 35$) – $\bar{x}_2 = 28$ та $S_2 = 7$. Потрібно з'ясувати, чи можна з надійною ймовірністю 0,95 вважати різницю між середніми значеннями частоти дихання вірогідною.

Обчислюємо значення показника T :

$$T = \sqrt{\frac{24 \cdot 35 \cdot (24 + 35 - 2)}{(24 + 35) \cdot ((24 - 1) \cdot 5^2 + (35 - 1) \cdot 7^2)}} \cdot |24 - 28| = 2,56.$$

Визначаємо число ступенів волі k

$$k = 24 + 35 - 2 = 57.$$

За таблицею значень коефіцієнта Стьюдента знаходимо $t(0,95; 57) = 1,96$. Оскільки $T > t(\alpha; k)$, робимо висновок про те, що отримана різниця між середніми значеннями частоти дихання в групах хворих не випадкова (вірогідна).

Приклад 6. Виміри пульсу у 10 хворих, проведені після деякої процедури, та у 12 хворих контрольної групи дали такі результати: для I групи – $\bar{x}_1 = 70$ уд./хв, для II групи – $\bar{x}_2 = 68$ уд./хв; оцінки дисперсії відповідно дорівнюють $S_1^2 = 9$ (уд./хв)² та $S_2^2 = 4$ (уд./хв)². Для рівня значущості $p = 0,05$ визначити, чи вірогідна різниця середніх значень пульсу у двох вибірках.

Обчислюємо значення показника T :

$$T = \frac{70 - 68}{\sqrt{9 \cdot 9 + 11 \cdot 4}} \sqrt{\frac{10 \cdot 12 \cdot (10 + 12 - 2)}{10 + 12}} = 1,87.$$

Визначаємо число ступенів волі k :

$$k = 10 + 12 - 2 = 20.$$

За таблицею значень коефіцієнта Стьюдента знаходимо $t(0,95; 20) = 2,09$. Оскільки $T < t(\alpha; k)$, робимо висновок про те, що розходження середніх значень пульсу не є статистично вірогідним, тобто слід вважати, що вони обумовлені випадковими причинами, а не впливом проведеної процедури.

Приклад 7. Результати дослідження двох сортів гуми на еспандер в балах наведені в таблиці.

Номер еспандера	1	2	3	4
Знос для сорту А	32	40	36	35
Знос для сорту В	25	28	27	26

Зробити перевірку гіпотези про те, що гума сорту А більше зношується, ніж гума сорту В.

$$\hat{M}(A) = \bar{x}_A = \frac{1}{4}(32 + 40 + 36 + 35) = 35,75;$$

$$\hat{M}(B) = \bar{x}_B = \frac{1}{4}(25 + 28 + 27 + 26) = 26,5;$$

$$D(A) = 32^2 + 40^2 + 36^2 + 35^2 - 4 \cdot 35,75 \cdot 35,75 = 32,75;$$

$$D(B) = 5.$$

$$t = \frac{9,25}{\sqrt{37,75} \sqrt{\frac{4 \cdot 4 \cdot 6}{8}}} = 5,2.$$

Статистика розподілена за Стьюдентом з шістьма ступенями свободи. Значення $t = 5,2$ виходить далеко за межі інтервалу, що має рівень довіри 0,99 (цей інтервал (-3,14; 3,14)). Отже, гіпотеза про те, що обидва сорти резини зношуються однаково, не проходить. Однак проходить альтернативна їй «одностороння» гіпотеза про те, що резина сорту А зношується швидше.

Приклад 8. Результати одночасного вимірювання значень величин Y та X для елементів деякої вибірки наведені в таблиці. Знайти вибіркову оцінку коефіцієнта кореляції та рівняння регресії Y на X та X на Y .

X	3,1	1,5	3,7	2,8	0,5	3,5	4,5	2,0	0,9
Y	1,7	1,2	3,0	2,5	0,7	2,2	2,6	1,9	1,8

Спочатку знаходимо середні вибіркові величин X та Y :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{22,5}{9} = 2,50; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{17,6}{9} = 1,96.$$

Потім знаходимо вибіркові оцінки середніх квадратичних відхилень:

$$S(X) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{1,84} = 1,36; \quad S(Y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{0,46} = 0,68,$$

та обчислюємо значення величини:

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y} = 50,34 - 9 \cdot 2,5 \cdot 1,96 = 6,24.$$

Тепер можна обчислити значення коефіцієнта кореляції:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(n-1)S(X)S(Y)} = \frac{6,24}{8 \cdot 1,36 \cdot 0,68} = 0,84.$$

Отримане значення R достатньо велике, щоб вважати регресію лінійною, тому можна перейти до обчислення коефіцієнтів регресії:

$$a = R \frac{S(Y)}{S(X)} = 0,84 \cdot \frac{0,68}{1,36} = 0,48; \quad b = \bar{y} - a\bar{x} = 1,96 - 0,48 \cdot 2,5 = 0,76;$$

$$a_1 = R \frac{S(X)}{S(Y)} = 0,84 \cdot \frac{1,36}{0,68} = 1,67; \quad b_1 = \bar{x} - a_1 \bar{y} = 2,5 - 1,67 \cdot 1,96 = -0,77.$$

Тепер рівняння регресії Y на X та X на Y можуть бути записані відповідно у вигляді:

$$y = 0,48x + 0,76 \quad \text{та} \quad x = 1,67y - 0,77.$$

Питання, винесені на семінар

1. Основні поняття математичної статистики.
2. Опис даних. Види шкал.
3. Оцінка параметрів генеральної сукупності за вибіркою.
4. Перевірка статистичних гіпотез.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Вибіркова сукупність – це:

- A. Частина генеральної сукупності, яка обрана для вивчення властивостей генеральної сукупності.
- B. Найбільша сукупність, яка об'єднує всі елементи, що мають яку-небудь властивість, наявність котрої дозволяє віднести елементи до даної сукупності.
- C. Будь-яка довільна множина елементів.
- D. Множина об'єктів, що є перетинанням двох генеральних сукупностей.
- E. Сукупність будь-яких, не зв'язаних один з одним об'єктів.

2. Похибка середнього (m_x) обчислюється за формулою:

$$\begin{array}{lll} A. m_x = \frac{\sqrt{\hat{D}(X)}}{n} & B. m_x = \sqrt{\frac{\hat{D}(X)}{\bar{x}}} & C. m_x = \frac{\hat{D}(X)}{\sqrt{\bar{x}}} \\ D. m_x = \sqrt{\frac{\hat{D}(X)}{n}} & E. m_x = \frac{\sqrt{\hat{D}(X)}}{n-1}, & \end{array}$$

де n – об'єм вибірки; $\hat{D}(X)$ – оптимальна вибіркова оцінка дисперсії; \bar{x} – середнє вибіркове.

3. Рівень значущості відхилення оцінки (p) обчислюється за формулою:

$$\begin{array}{lll} A. p = \alpha & B. p = 1 + \alpha & C. p = 1 - \alpha \\ D. p = \sqrt{1 - \alpha} & E. p = \frac{1 - \alpha}{n}, & \end{array}$$

де α – надійна ймовірність; n – об'єм вибірки.

4. У яких шкалах мають сенс тільки операції порівняння?

- A. Порядкових.
- B. Інтервальних.
- C. Номінальних.
- D. Всіх шкалах.
- E. Порядкових і інтервальних.

5. Чому дорівнює похибка середнього, якщо об'єм вибірки 16, а оптимальна вибіркова оцінка дисперсії дорівнює 36?

$$A. 3/2. \quad B. 2/3. \quad C. 9. \quad D. 6. \quad E. 16/36.$$

6. Оптимальна вибіркова оцінка математичного сподівання величини X ($M(X)$) обчислюється за формулою:

$$\begin{array}{ll} A. \hat{M}(X) = \bar{x} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 & B. \hat{M}(X) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \\ C. \hat{M}(X) = \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i & D. \hat{M}(X) = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \\ E. \hat{M}(X) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2, & \end{array}$$

де n – об'єм вибірки; \bar{x} – середнє вибіркове; x_i – значення випадкової величини.

7. При обчисленні границь надійного інтервалу для математичного сподівання нормально розподіленої випадкової величини X , по вибірці об'ємом $n \geq 30$, використовується величина $t(\alpha)$, яка є:

- A. Похибкою середнього.
- B. Коефіцієнтом Стьюдента.
- C. Функцією Лапласа.
- D. Аргументом функції Лапласа.
- E. Рівнем значущості.

ТЕМА 8

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ У МЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Класифікація методів моделювання

Метод математичного моделювання є одним з найбільш конструктивних інструментів отримання нових знань в медицині.

Модель – це якийсь новий об'єкт, що відображає суттєві особливості досліджуваного об'єкта, явища або процесу. Однак модель – це не тільки відображення наших знань про досліджуваний об'єкт, а й джерело нових знань, отриманих за допомогою моделі. Дослідження моделі дозволяє оцінити поведінку модельованого об'єкта в нових умовах або при різних впливах, які на реальному об'єкті перевірити неможливо (дослідження на людях) або важко (дороговартісні об'єкти або негативні наслідки експериментів).

Таким чином, в більш широкому сенсі модель можна розглядати як подумки подану або матеріально реалізовану систему, яка, відображаючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нову інформацію про цей об'єкт.

Модель – штучно створений людиною об'єкт будь-якої природи, який замінює або відтворює досліджуваний об'єкт так, що вивчення моделі здатні давати нову інформацію про об'єкт. *Модель* наближена до реального об'єкта, вона завжди відображає тільки деякі його риси, причому в різних випадках – різні, все залежить від завдання, для вирішення якої створюється *модель*.

Об'єкт дослідження в біології та медицині – живий організм, який є досить складною системою. Тому дослідник неминуче вибирає спрощену точку зору, яка підходить для вирішення конкретно поставленої задачі. Вибір моделі визначається цілями дослідження.

Існує безліч класифікацій моделей, найбільш загальна з них поділяє всі моделі на *фізичні*, які, у свою чергу, поділяються на речові, енергетичні та комбіновані, *інформаційні*, які теж поділяються на словесні (описові), символні (графічні) та математичні, і *біологічні* (рис. 8.1).

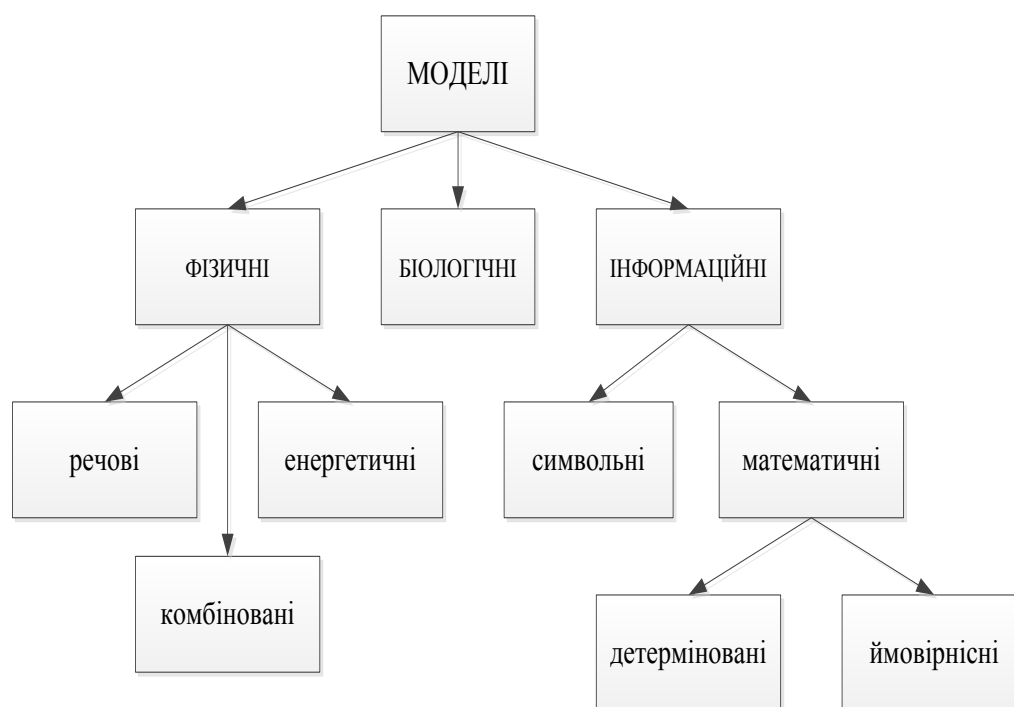


Рис. 8.1. Класифікація моделей

Фізичні моделі мають свою фізичну оболонку. Вони можуть бути представлені у вигляді протезів, макетів, зменшених копій тощо. Фізичні моделі допомагають науковцям та інженерам краще розуміти складні фізичні процеси, роблять можливими прогнозування та оптимізацію систем, а також допомагають вирішувати різноманітні проблеми в науці та техніці. Вони є важливим інструментом для розвитку нових технологій та вирішення сучасних проблем.

Під *речовими моделями* прийнято розуміти ті, які відтворюють структуру об'єкта і взаємодію його частин. Прикладом таких моделей в медицині можуть служити різні протези, за зовнішнім виглядом схожі на реальні частини тіла, які вони замінюють.

Енергетичні моделі використовуються для моделювання функціональних взаємовідносин у досліджуваних об'єктах. Ці моделі за зовнішнім виглядом не нагадують модельовані об'єкти, але їх метою є виконання функцій цих об'єктів. Наприклад, у медицині широко використовуються такі системи, як апарат штучної нирки або штучного дихання. Є ціла низка розробок, в яких поєднуються властивості речових та енергетичних моделей, тобто і за зовнішнім виглядом і за функціями, які вони виконують, моделі подібні до замічних органів. До таких моделей належать біокеровані протези, штучний кришталік ока, останні розробки в галузі штучного серця.

На відміну від перших двох моделей *інформаційні моделі* – це опис об'єкта. У медико-біологічних дослідженнях до недавнього часу для опису роботи біологічних систем використовували переважно *словесні моделі*.

Символьні моделі спрощують сприйняття інформації і можуть бути представлені у вигляді мап, графіків, креслень.

Однак, за допомогою словесних і символьних моделей складно чітко викласти закономірності роботи досліджуваного об'єкта. Тому все частіше використовуються *математичні моделі*, які використовують кількісні співвідношення між параметрами досліджуваної біосистеми. Саме вони отримали найбільше значення в медичних дослідженнях.

Математичні моделі поділяються на *детерміновані* та *ймовірнісні*. У детермінованих моделях змінні і параметри передбачаються постійними і описуються детермінованими функціями. У імовірнісних моделях, змінні і параметри, що характеризують її, є випадковими функціями або випадковими величинами. Детерміновані математичні моделі найчастіше являють собою систему алгебраїчних або диференціальних рівнянь. Імовірнісні моделі будуються за результатами експериментального визначення динамічних характеристик об'єктів на основі методів математичної статистики.

Необхідність застосування в медицині математичних методів моделювання з використанням комп'ютерної техніки диктується тим, що з їх допомогою можна описати адекватно і в короткий термін узагальнити складну сутність явищ і процесів, описати і зрозуміти факти, виявити взаємозв'язки, знайти раціональне рішення з набагато більшою повнотою і надійністю, ніж це робиться на базі словесних характеристик і елементарних рутинних розрахунків.

На сьогодні сформувався уявлення про те, що може дати застосування методу математичного моделювання в медицині: систематизувати і об'єднувати знання про фізіологічні системи, ідентифікувати важливі параметри (фізіологічні змістовні властивості) і визначати загальну чутливість системи до варіації кожного параметра, кількісно оцінювати важкі у вимірюванні і взагалі невимірні показники, швидко і ефективно перевіряти гіпотези без звернення до експерименту, планувати експерименти і дослідження, передбачати поведінку реальної системи.

Важливою проблемою в математичному моделюванні є адекватність математичного виразу біологічного явища, тому що математичний апарат створювався із розрахунку на вивчення процесів неживої природи (механічних, атомних, молекулярних), що характеризуються одновимірним розподілом, яке не властиво біопротесам.

Спрямованість на клінічне застосування визначила особливі вимоги до математичних моделей: необхідність відображення патологічних процесів і компенсаторних зрушень, лікувальних впливів (медикаментозних, зміна режиму вентиляції, рідинного балансу та ін.), оцінку моделі в реальному часі, а також наявність діалогового інтерфейсу в термінах, прийнятих в клініці.

Таким чином, математична модель – це система формул, функцій, рівнянь, які описують ті чи інші можливості досліджуваного об'єкта, явища або процесу. Закон всесвітнього тяжіння, закон Ома та ін. – все це математичні моделі реальних фізичних явищ. Коли ж вивчаються динамічні процеси, то математичною моделлю є система диференціальних рівнянь, тобто рівнянь, які містять похідні, оскільки саме похідні відображають зміни величин, які нас цікавлять в досліджуваній системі. Математичне моделювання будь-якого процесу можливе, коли досить добре вивчені його фізичні та біологічні закономірності, однак перелік таких процесів у живому організмі поки що невеликий. Впровадження *ЕОМ* розширило можливості математичного моделювання в медицині, оскільки стало можливим моделювання складних систем.

Математичне моделювання дає можливість дослідити поведінку біологічної системи в таких умовах, які складно створити в експерименті або клініці, причому без істотних матеріальних витрат, також зменшується тривалість дослідження, оскільки на *ЕОМ* можна за короткий час відтворити величезну кількість варіантів дослідження, і математична модель спрощує вирішення завдань з лікування хвороб, тому що можна дуже швидко відповісти на питання, які виникають під час лікування.

Математична модель «хижаки – жертви»

Вперше в біології математичну модель періодичної зміни кількості антагоністичних видів тварин запропонував італійський математик В. Вольтерра зі співробітниками. Вона була розвитком ідеї, наміченої в 1924 р. А. Лотткі у книзі «Елементи фізичної біології». Тому ця класична модель відома як «модель Лотткі–Вольтерра».

Хоча в природі відносини антагоністичних видів складніші, ніж у моделі, тим не менш вони є хорошою навчальною моделлю, на якій можна вивчати основні ідеї математичного моделювання.

Завдання моделювання формулюється таким чином.

У певному, екологічно замкнутому районі, живуть тварини двох видів (наприклад, рисі і зайці). Зайці (жертви) харчуються рослинною їжею, яка є в достатній кількості (в рамках даної моделі не враховується обмеженість ресурсів рослинної їжі). Рисі (хижаки) можуть харчуватися тільки зайцями. Потрібно визначити, як буде змінюватися чисельність жертв і хижаків з плином часу.

Позначимо кількість жертв через N , а кількість хижаків через M . Величини N і M є функціями часу t . У даній моделі врахуємо такі фактори:

- природне розмноження жертв;
- природну загибель жертв;
- знищення жертв внаслідок поїдання їх хижаками;
- природне вимирання хижаків;
- збільшення кількості хижаків унаслідок розмноження за наявності їжі.

Оскільки мова йде про математичну модель, то завданням є виведення рівнянь, в які входили б всі позначені фактори і які описували б динаміку, тобто зміна кількості жертв і хижаків з плином часу.

Нехай за деякий час Δt кількість жертв і хижаків зміниться на ΔN і ΔM . Зміна кількості жертв ΔN за час Δt визначається, по-перше, збільшенням внаслідок природного розмноження (пропорційно кількості жертв, які є в наявності):

$$(\Delta N)_1 = AN\Delta t,$$

де A – коефіцієнт пропорційності, який характеризує швидкість розмноження жертв у даних умовах.

По-друге, має місце зменшення кількості жертв внаслідок природного вимирання, також пропорційний їх кількості в даний момент:

$$(\Delta N)_2 = -BN\Delta t.$$

Знак мінус якраз і відображає зменшення. В основі рівняння, яке описує зменшення кількості жертв в результаті поїдання їх хижаками лежить ідея про те, що, чим частіше відбуваються їхні зустрічі, тим швидше зменшується кількість жертв. Також зрозуміло, що частота зустрічей хижака з жертвою пропорційна і кількості жертв і кількості хижаків, тобто їх добутку MN .

Тому можна записати:

$$(\Delta N)_3 = -CNM\Delta t.$$

Коефіцієнт C характеризує частоту зустрічей жертви з хижаком.

Як висновок, з урахуванням усіх трьох факторів, для зміни кількості жертв можна записати таке рівняння:

$$\Delta N = AN\Delta t - BN\Delta t - CMN\Delta t$$

або

$$\frac{dN}{dt} = AN - BN - CMN.$$

Для того, щоб вирішити це рівняння, потрібно знати, як змінюється кількість хижаків M з часом.

Зміна кількості хижаків ΔM визначається збільшенням числа хижаків внаслідок природного розмноження за наявності достатньої кількості їжі ($\Delta M_1 = QNM\Delta t$) і зменшенням внаслідок природного вимирання ($\Delta M_2 = -PM\Delta t$):

$$\Delta M = QNM\Delta t - PM\Delta t,$$

тобто

$$\frac{dM}{dt} = QNM - PM.$$

Математичне моделювання в імунології

Імунітет – це складний комплекс реакцій організму на вторгнення антигенів – чужорідних об'єктів: молекул, клітин, тканин та ін. Специфічна імунна реакція на молекулярному рівні починається з того, що спеціалізовані плазматичні клітини виробляють у великій кількості білкові молекули-антитіла, які нейтралізують антигени. Антитіла мають конформацію, комплементарну певній ділянці поверхні антигену. Тому антитіло взаємодіє з антигеном, як ключ із замком, і комплекс, який утворюється, піддається лізису ферментами. Розглянемо модель роботи імунного апарату під час тривалого інфекційного захворювання. Ця модель використовується в клінічній практиці при лікуванні вірусного гепатиту і гострої пневмонії.

Дослідження характеру рішень математичної моделі дало чотири основних форми перебігу інфекційного захворювання. На *рис. 8.2* показані можливі випадки динаміки імунної реакції (X – кількість антигенів, t – час):

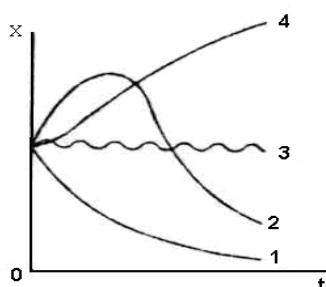


Рис. 8.2. Можливі випадки динаміки імунної реакції

Субклінічна форма 1 – проходить без фізіологічних розладів в організмі і без зовнішніх проявів. Засоби імунного захисту легко знищують антигени, не даючи їм розмножуватися до небезпечної межі.

Гостра форма 2 – в цьому випадку організм атакується невідомим антигеном у великих кількостях. Спочатку відбувається його посилене розмноження. Коли ж імунна система виробляє проти нього достатню кількість антитіл, то кількість антигенів різко зменшується.

Хронічна форма 3 – встановлюється динамічна рівновага в кількостях антигенів і антитіл. Виникає стійкий стан хвороби.

Летальна форма 4 – імунна відповідь занадто запізнюється, і велика кількість антигенів провокує в організмі незворотні зміни.

Математична модель імунної реакції при інфекційних захворюваннях – це три взаємозалежних диференціальних рівняння:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = AX - BXY - CX \\ \frac{dY}{dt} = DZ - KXY - LY \\ \frac{dZ}{dt} = MF(X) - NZ \end{cases}$$

де X – кількість антигенів; Y – кількість антитіл; Z – кількість плазматичних клітин, які виробляють антитіла.

Взаємодія «хвороботворного початку» (антигенів) й імунних сил організму в цій математичній моделі носить характер, схожий за взаємодією з системою «хижаки–жертви». Тому два перших рівняння схожі на вивчені в попередньому розділі.

«Жертвою» тут є чужорідний агент, який в моделі буде кількісно описуватися концентрацією відповідного антигену X , а «хижаком» – антитіла Y , утворені від кількості Z цих клітин.

У даній моделі враховані наступні процеси і фактори:

1. Розмноження антигенів (йдеться про розмноження чужорідних вірусів і бактерій в організмі господаря). Коефіцієнт розмноження A вважається обернено-пропорційним температурі, тобто $A = A(T) = A(0)/T$. Тим самим буде враховано пригнічувальний вплив високої температури на розмноження антигенів.

2. Природний розпад антитіл і антигенів з коефіцієнтами C і L .

3. Природна загибель плазматичних клітин з коефіцієнтом N .

4. Взаємодія антиген-антитіло в реакції аглютинації пропорційно ймовірності зустрічі відповідного антитіла з антигеном, тобто XY .

5. Надходження антитіл в кров пропорційно концентрації клітин Z .

6. Швидкість утворення плазматичних клітин вважається залежною не просто від концентрації антигену X , а від деякої функції $F(X)$. Ця функція $F(X)$ в даній моделі представлена у вигляді гіперболічної залежності:

$$F(X) = \frac{X}{Q + X}.$$

Коефіцієнт M вважається пропорційно залежним від температури ($M = M(T)$).

Дослідження математичної моделі полягає у вирішенні виведеної системи диференціальних рівнянь з відомими коефіцієнтами $A, B, C, D, K, L, M, N, Q$ і при початкових умовах $X(0), Y(0), Z(0)$. Особливо значущим при цьому є те, що одна і та ж модель при різних початкових умовах або коефіцієнтах дає абсолютно різну динаміку процесу. Ці коефіцієнти визначаються за результатами спеціальних біохімічних аналізів, у кожної людини вони індивідуальні.

Лікар отримує в лабораторії значення всіх коефіцієнтів хворого. Ці дані вводяться в *ЕОМ*, яка, вирішивши систему рівнянь при цих значеннях коефіцієнтів, видає прогноз, яким чином розвиватиметься інфекційне захворювання у даного пацієнта.

Математична модель може також допомогти лікарю і при лікуванні. Наприклад, у медичній практиці лікування деяких інфекційних захворювань проводять методом загострення, тобто переводять хронічну форму в гостру з подальшим одужанням. Для цього необхідно штучно загострити хворобу, тобто ввести в організм у певний момент часу (t_1, t_2) певну кількість біостимулятора – антигена, який є конкуруючим, непатогенним, не розмножується; через деякий час він провокує посилену імунну відповідь, яка призводить до швидкого одужання (рис. 8.3).

Дослідження математичної моделі, тобто багаторазовий розрахунок на *ЕОМ*, дає можливість визначити необхідну кількість біостимулятора і момент часу його введення в організм хворого, при якому графік перебігу хвороби набуває необхідної форми. Потім лікар на основі такого попереднього дослідження моделі на *ЕОМ* може ввести індивідуально підібрану дозу біостимулятора хворому.

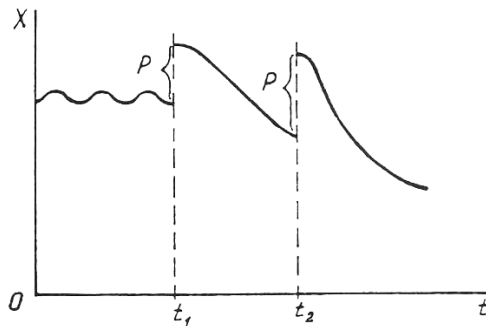


Рис. 8.3. Математична модель зростання популяції бактерій

Зміна розміру популяції бактерій описується таким диференціальним рівнянням:

$$\frac{dY}{dt} = AY - BY^2,$$

де Y – кількість клітин в колонії; t – час; $\frac{dY}{dt}$ – швидкість зміни кількості клітин; A – коефіцієнт, який залежить від середнього значення періоду генерації; B – коефіцієнт, який враховує смертність.

Процес поширення інфекційного захворювання в простому випадку можна описати системою з трьох диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = -QAXY, \\ \frac{dY}{dt} = QAXY - \frac{1}{R}Y, \\ \frac{dZ}{dt} = \frac{1}{R}Y, \end{cases}$$

де Q – кількість жителів населеного пункту; A – середня кількість мешканців, яких кожен день інфікує кожен хворий; R – середня тривалість захворювання, дні; X – кількість здорових людей; Y – кількість хворих людей; Z – кількість тих, хто перехворів і набув імунітет.

**Експонентна модель розмноження
(модель природного зростання чисельності популяції)**

Нехай $x(t)$ – чисельність населення в момент часу t . Припустимо, що кількість новонароджених (G) пропорційна кількості населення і проміжку часу Δt :

$$G = gx \Delta t,$$

де g – усереднене відносна кількість новонароджених в одиницю часу (народжуваність); наприклад, $g = 0,068$ (1/рік) позначає 68 новонароджених на 1000 населення за рік. Кількість померлих (H) в даній моделі також вважають пропорційною чисельності населення і проміжку часу

$$H = hx \cdot \Delta t.$$

Величину h , яка є усередненим відносним числом померлих за одиницю часу, називають смертністю. Тоді зміна чисельності населення (ΔX):

$$\Delta X = G - H.$$

Отже, диференціальне рівняння експоненційної моделі розмноження має наступний вигляд:

$$dx = (g - h) x dt.$$

З цього рівняння знаходимо швидкість відносного приросту населення:

$$\frac{1}{x} \frac{dx}{dt} = g - h.$$

У експоненційній моделі швидкість відносного приросту не залежить від чисельності населення і не змінюється з часом, тобто:

$$g - h = const.$$

Рішення такого рівняння називають формулою експоненціального зростання:

$$x(t) = x_0 e^{(g-h)t}.$$

У цьому рівнянні враховано початкова умова $x|_{t=0} = x_0$.

Аналізуючи отриманий зв'язок, бачимо, що населення з часом зростає, якщо $g > h$, залишається на одному рівні, якщо $g = h$, зменшується, якщо $g < h$.

**Логістична модель розмноження
(модель зміни чисельності популяції з урахуванням конкуренції між особинами)**

Кількість новонароджених в логістичній моделі виражається аналогічно такому в експоненційній $G = gx\Delta t$, проте число померлих визначається рівнянням:

$$H = hx\Delta t + h_1 x^2 \Delta t.$$

Другий доданок враховує додаткові причини загибелі: війна, епідемії інфекцій, голод та ін. Таким чином, диференціальне рівняння логістичної моделі розмноження має вигляд:

$$dx = (g - h) x dt - h_1 x^2 dt.$$

Приватним рішенням цього рівняння з початковою умовою є наступна функція:

$$x(t) = \frac{x_0(g-h)e^{(g-h)t}}{(g-h) + x_0 h_1 (e^{(g-h)t} - 1)}.$$

Така функція називається логістичною, а закон, відповідно, – логістичним. Графік залежності $x(t)$ наведено на *рис. 8.4*.

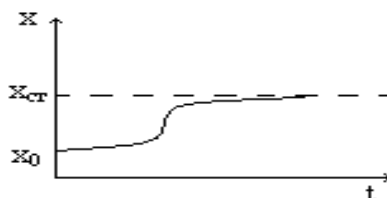


Рис. 8.4. Логістична модель розмноження

Як бачимо, з плином часу x не йде на нескінченність, а виходить на стаціонарний рівень x_{cm} . При логістичному законі розмноження чисельність населення з часом наближається до рівноважного числа, визначеного межею:

$$x_{cm} \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \frac{g-h}{h_1}.$$

Фармакокінетичні моделі

Фармакокінетика вивчає розподіл в організмі досліджуваної біологічно активної речовини і зміни її концентрації з часом. До біологічно активних речовин відносяться, зокрема, лікарські препарати. Закони зміни концентрації лікарського препарату в організмі різні залежно від способів і параметрів його введення та виведення. У фармакокінетиці організм формально поділяють на камери об'ємом V . Фармакокінетична камера – це частина організму, в якій досліджуваний препарат розподілений рівномірно. Сукупність процесів, які обумовлюють зменшення вмісту лікарського препарату в організмі з часом, називають *елімінацією*.

Розглянемо фармакокінетичну модель при одноразовому введенні лікарського препарату початкової маси M_0 .

Якщо швидкість виведення лікарського препарату з організму $\frac{dM}{dt}$ пропорційна першому ступеню маси M препарату в камері, то такий процес відноситься до лінійної фармакокінетичної моделі. Вважають, що в такій фармакокінетичній моделі лікарський препарат рівномірно розподілений по всьому організму, і модель називають «однокамерною».

Диференціальне рівняння однокамерної лінійної фармакокінетичної моделі має вигляд:

$$\frac{dM}{dt} = -k_{el}M,$$

де k_{el} – константа елімінації, тобто коефіцієнт видалення препарату з організму.

Інтегральне рівняння однокамерної лінійної фармакокінетичної моделі записують як:

$$M = M_0 e^{-k_{el}t},$$

де M – маса препарату в камері в момент часу $t = 0$.

Якщо V – об'єм камери, то масу M препарату визначають за концентрацією з $M = V \cdot c$. Рівняння для визначення концентрації препарату залежно від часу має наступний вигляд:

$$c(t) = c_0 e^{-k_{el}t},$$

де c_0 – концентрація препарату в початковий момент часу.

Елімінацію (виведення) біологічно активних речовин з організму на практиці вивчають за зменшенням їх концентрації в крові. Кров є основною тест-тканиною. Як видно, концентрація лікарського препарату в крові безперервно знижується за спадаючим експоненціальним законом.

Прологарифмуємо останнє рівняння:

$$\ln c(t) = \ln c_0 - k_{el}t$$

і побачимо лінійну залежність логарифма концентрації від часу. Однокамерна лінійна модель є адекватною, якщо експериментальні значення $\ln c(t_1)$, $\ln c(t_2)$, ..., $\ln c(t_n)$ задовольняють останньому рівнянню.

Однокамерна лінійна модель є адекватною для багатьох лікарських препаратів, введених в кров ін'єкційно. Рівномірний розподіл препарату забезпечується циркуляцією крові протягом декількох хвилин, а період напіввиведення порядку декількох годин.

Питання, винесені на семінар

1. Види моделювання. Комп'ютерні технології та математичне моделювання.
2. Математичне моделювання процесів в популяціях:
 - хижаки–жертви;
 - імунологічні моделі;
 - зростання популяції;
 - поширення інфекції.
3. Математичне моделювання процесів фармакокінетики (розподілу активних речовин в організмі моделі).

Тестові завдання для самоконтролю:

1. Модель Лоттки–Вольтерра описує:
 - A. Природне розмноження жертв.
 - B. Природну загибель жертв.
 - C. Тимчасову зміну кількості антагоністичних видів тварин.
 - D. Природне вимирання хижаків.
 - E. Логарифмічну залежність відчуття подразнення від величини подразнення.
2. Моделі фармакокінетики описують:
 - A. Лінійні залежності зменшення вмісту лікарських речовин від часу.
 - B. Швидкість руху біологічно активних речовин в організмі.
 - C. Зменшення активності препарату з часом.
 - D. Залежність концентрації лікарського препарату від маси тіла.
 - E. Розподіл і елімінацію лікарських препаратів в організмі.
3. Математичні моделі поширення інфекційних захворювань у населеному пункті враховують три взаємозалежні величини:
 - A. Кількість здорових людей; кількість хворих і кількість перехворілих і тих, що набули імунітет.
 - B. Вагу хворого, його вік і зріст.
 - C. Кількість лейкоцитів у крові, вагу й вік хворого.
 - D. Кількість еритроцитів у крові, показники гемоглобіну й гематокриту.
 - E. Кількість лейкоцитів у сечі, вагу й зріст хворого.
4. Логістичний закон розмноження описує:
 - A. Періодичні коливання чисельності населення в часі.
 - B. Необмежене експоненціальне зростання чисельності населення.
 - C. Необмежене експоненціальне зменшення чисельності населення.
 - D. Уповільнення з часом зростання чисельності населення й наближення її до постійного значення.
 - E. Постійне зростання народжуваності й зниження смертності населення.
5. Математична модель «хижаки–жертви» представляється:
 - A. Функціональною залежністю між кількістю хижаків і жертв.
 - B. Статистичними розподілами параметрів, що впливають на кількість взаємозалежних видів.
 - C. Кореляційною залежністю між числом хижаків і жертв.
 - D. Системою алгебраїчних рівнянь, що задають кількість двох протидіючих видів тварин.
 - E. Системою диференціальних рівнянь, що описують динаміку змін двох протидіючих видів.
6. Математичні моделі, в яких змінні та параметри вважаються постійними, називають:
 - A. Детермінованими.
 - B. Ймовірнісними.
 - C. Енергетичними.
 - D. Інформатичними.
 - E. Аналітичними.
7. Енергетичні моделі використовуються для:
 - A. Встановлення кореляційної залежності між досліджуваними величинами.
 - B. Відтворення функціональних взаємин у досліджуваних об'єктах.
 - C. Відтворення структурних відносин в об'єктах.
 - D. Відображення енергетичних потоків у біосистемах.
 - E. Відображення інформаційних потоків у біосистемах.

Сутність і принципи системного підходу

Виникнення і розвиток системного підходу було підготовлено прогресом наукових досліджень. Вивчаючи ті чи інші елементи живих систем, фізіологи завжди цікавилися їх внутрішньою структурою, розглядаючи її як ключ до розуміння принципів функціонування системи в цілому. При цьому застосовувалося послідовне розділення складної системи на простіші. Такий підхід вбачає більш тонку деталізацію структури досліджуваного об'єкта. По окремих елементах системи, їх структурі і функціям робилися спроби зрозуміти всю складність комплексу. Однак такий аналітичний підхід дав мало для розуміння структури і функції організму в цілому, тому що організм являє собою складну систему з ймовірнісною організацією, що має якісно нові властивості, що не збігаються з окремими особливостями своїх елементів.

Одночасно розвивався і другий метод дослідження – інтегральний, який застосовувався в тих випадках, коли внутрішня будова системи та складні взаємозв'язки складових її елементів не відомі або відомі недостатньо. При цьому спостереженню доступні лише її «вхід», через який надходить інформація із зовнішнього світу, і «вихід», через який система «видає» реакції, вироблені нею в результаті деякого невідомого процесу переробки інформації. Всі основи вчення про умовні рефлекси були закладені в результаті дослідів, проведених цим шляхом, який відомий як проблема «чорного ящика». Під «чорним ящиком» розуміється система, в якій зовнішньому спостерігачеві доступні лише вхідні та вихідні величини, а внутрішній устрій невідомий. При цьому виявляється, що ряд важливих висновків про поведінку системи можна зробити, спостерігаючи лише реакції вихідних величин на зміну вхідних. Такий підхід, зокрема, відкриває можливості об'єктивного вивчення систем, устрій яких невідомий або занадто складний для того, щоб описувати їх поведінку, виходячи з властивостей і взаємозв'язків частин цих систем. «Чорний ящик» використовується в сучасній медицині. Коли хворий приходить до лікаря, то на підставі скарг, анамнезу, огляду і даних первинного обстеження виникає припущення про ймовірнісний діагноз. Таким чином, лікар на підставі інформації, отриманої при впливі на систему під назвою «хворий», намагається скласти уявлення про структуру та функціонування цієї системи при патології.

Системний підхід в медичних завданнях використовується як синонім поняття комплексний підхід і являє собою методологію наукового пізнання світу, в основі якої лежить дослідження об'єктів цього світу як систем.

Системний підхід дозволяє розкрити і пояснити механізми, що забезпечують цілісність об'єкта дослідження, виявляючи все різноманіття його зв'язків і об'єднуючи їх під єдиною теоретичною основою.

Принцип цілісності об'єкта виходить з того, що ціле (наприклад, організм людини) володіє такою якістю, якою не володіє жодна з його частин окремо, наприклад, система кровообігу. Така властивість називається *емерджентністю* (від англ. «*Emergent*» – несподівано виникаючий).

Системний підхід вимагає розгляду досліджуваного явища або процесу (наприклад, травлення) не тільки як самостійної системи, але і як підсистеми деякої суперсистеми більш високого рівня (організм людини). При системному підході вивчається максимально можлива кількість зв'язків для того, щоб не втратити істотні зв'язки і фактори та оцінити їх ефективність.

Будь-який об'єкт дослідження може бути представлений або як підсистема деякої системи більш високого рангу (це призводить до проблеми виділення системи, встановлення її меж), або як система відносно до сукупності підсистем більш низького рангу, які утворені з елементів (це призводить до проблеми вибору первинного елемента). Системний підхід характеризується одночасним, всебічним, комплексним розглядом об'єкта вивчення, будь то процес, явище, факт чи інформація.

Загальні поняття теорії систем. Системи та їх властивості

Термін «система» вживається в різних галузях науки і техніки. Наприклад, астрономи використовують поняття «сонячна система», фізіологи – «система травлення», математики – «система рівнянь» і т. д. Спільним у всіх цих варіантах вживання слова «система» є те, що йому супутне поняття деякої впорядкованості безлічі елементів, наявність зв'язку між елементами.

Система – це сукупність (безліч) елементів, між якими є зв'язки (відносини, взаємодії). Таким чином, під системою розуміється не будь-яка сукупність, а впорядкована. Якщо зібрати разом (об'єднати) однорідні або різнорідні елементи (медобладнання, пацієнти, лікарі, медикаменти), то це буде не системою, а лише більш-менш випадковим змішанням.

Іншими словами, під системою розуміють безліч взаємодіючих між собою елементів. Функціонування кожного елемента підпорядковане необхідності збереження системи в цілому. Окремі елементи системи об'єднані між собою причинно-наслідковими зв'язками. Це означає, що

зміна одного або декількох елементів, однієї або декількох зв'язків між елементами тягне за собою зміну інших елементів і зв'язків. Наприклад, патологічна зміна структури шлунка (гастрит) може викликати патологію жовчного міхура, підшлункової залози та інших елементів шлунково-кишкового тракту. Елементи системи в рамках системного підходу розглядаються з урахуванням їх «місця» і функції всередині цілого.

Ще одним прикладом може бути жива клітина. У матеріально-речовинному відношенні клітина складається з ряду хімічних сполук – білків, нуклеїнових кислот. Кожна із цих сполук окремо є неживою хімічною речовиною, яка не володіє всією сукупністю життєвих функцій (проявів). Однак в результаті певного способу взаємодії (обміну, заміщення, регенерації) ці хімічні сполуки утворюють цілісність, тобто власне клітину, яка володіє якісно більш складними властивостями відносно первинних її складових: здатністю до обміну речовин, росту, самовідтворення, дратівливості.

Вважати ту чи іншу сукупність елементів системою або ні залежить багато в чому також від цілей дослідника і точності аналізу, що визначається можливістю спостерігати і описувати систему. Наприклад, для розробника і лікаря кардіологічний діагностичний комплекс – це система, а для пацієнта – тільки засіб діагностики.

Ознаки, що дозволяють відрізнити систему від «не системи», такі:

1. Система – це сукупність елементів, які самі можуть розглядатися як системи. Будь-яка вихідна система є частиною більш загальної системи. Наприклад, електрокардіограф можна розглядати як один з діагностичних засобів лікарні або елемент діагностичних засобів міста та ін. (тобто елемент системи може сам бути системою).

2. Для системи характерна наявність інтегративних властивостей, які притаманні системі в цілому, але не властиві жодному з її елементів окремо. Наприклад, вимірювати артеріальний тиск може прилад, але не його окремі елементи (тобто кожен елемент системи окремо не володіє властивостями, притаманними системі в цілому).

3. Для системи характерна наявність суттєвих зв'язків між елементами, тобто скупчення розрізнених, незв'язаних частин не є системою (тобто елементи системи повинні взаємодіяти між собою). Всі три ознаки пов'язані між собою, і наявність однієї з них тягне за собою наявність двох інших. Прикладом системи є медична інформаційна система, що являє собою комплекс математичних і технічних засобів, які забезпечують збір, зберігання, обробку, аналіз і видачу медичної інформації в процесі вирішення медичних завдань.

Системою є також і організм людини. Якщо його розглядати на органному рівні, то окремими елементами є органи. Всі органи взаємопов'язані і утворюють єдине ціле. Властивості організму в цілому не притаманні окремим його органам (вони мають свої властивості).

Підсистемою називають виділену із системи підмножину взаємопов'язаних елементів, об'єднаних деякими цільовим призначенням. Поділ системи на підсистеми, а підсистеми – на більш дрібні, можна продовжувати доти, поки залишаються елементи (мінімум 2), об'єднані загальною ознакою, метою. Будь-яка система може бути представлена як об'єднання (композиція) підсистем різних рівнів і рангів.

Декомпозиція (поділ) системи на підсистеми може бути проведена за певними ознаками. Детальніше декомпозиція буде розглянута далі.

Поділ системи на підсистеми за рівнями називають *ієрархією*.

Окремим поняттям теорії систем є *«структура»*.

Структура системи – це часткове упорядкування елементів системи та відносин між ними за якоюсь ознакою. Іншими словами, структура – це все те, що вносить порядок в безліч об'єктів, тобто сукупність зв'язків і відносин між частинами цілого, необхідних для досягнення мети.

Приклад структур: звивини мозку, факультет, державний устрій, кристалічна решітка речовини, мікросхема. Кристалічна решітка алмаза – структура неживої природи; бджолині стільники і смуги зебри – структури живої природи; озеро – структура екологічної природи; партія (громадська, політична) – структура соціальної природи т. ін.

Структури можуть мати різні типи:

– *лінійний* (станції метро на одній (не кільцевій) лінії в одному напрямку);

– *ієрархічний* (структура управління ЗВО: «ректор – проректор – декан – завідувач кафедри»);

– *мережевий* (при організації робіт у ході будівництва будинку: деякі роботи, наприклад, монтаж стін, благоустрій території та інше можна виконувати паралельно);

– *матричний* (структура працівників відділу НДД, що виконують роботи за однією і тією ж темою).

У біології та медицині структура – це морфологічно і функціонально однорідна частина системи, що має зв'язки з іншими структурами. Структури системи тісним чином пов'язані із *зовнішнім середовищем системи* – сукупністю факторів, що діють на систему ззовні.

Одним з базових понять теорії систем є поняття елементу системи.

Елемент системи – це частина системи, що розглядається в кожному конкретному дослідженні як найпростіша, що має зв'язки з іншими елементами. Таким чином, під елементом системи розуміють об'єкти, які виконують певні функції і не підлягають подальшому розчленуванню (в рамках поставленої задачі).

Елемент в абсолютному вигляді і поза системою не існує. У цьому простежується один із проявів гносеологічного підходу: елемент як неподільна частина може розглядатися тільки стосовно конкретної моделі системи. Якщо ж розглядати модель іншої системи, то «елемент» попередньої моделі в цієї моделі вже не буде неподільним. Наприклад, з точки зору економічної моделі суспільства людина не може розглядатися як елемент, а з точки зору біологічної моделі людини – це складна суперсистема, яка складається з безлічі систем (нервової, опорно-рухової, кровообігу).

Кожна система може бути представлена як елемент системи вищого рівня. І в той же час елементи або групи елементів даної системи можна розглядати як самостійні системи більш низького рівня. Тобто йдеться про ієрархію систем. Наприклад, органи можна розглядати як системи для елементів – клітин, а клітини, у свою чергу, можна вважати системами, що складаються з елементів – молекул, атомів та ін.

Біологічний об'єкт в контексті розв'язуваної проблеми може розглядатися і як система, і як підсистема, і як структура.

Крім поділу систем за їх складністю, вони поділяються на детерміновані та імовірнісні.

Для повністю *детермінованої* системи можливий тільки один стан, вірогідність якого дорівнює одиниці. Така система не має гнучкості і не може адаптувати свої властивості до навколишніх умов.

Реальні системи є ймовірнісно-детермінованими, а їх поділ на імовірнісні і детерміновані умовний: до *імовірнісних* відносяться системи, у яких більшість можливих станів мають близькі значення ймовірностей, причому сума цих ймовірностей досить велика (близька до одиниці); до *детермінованих* відносяться системи, у яких ймовірність одного з можливих станів більше суми ймовірностей всіх інших станів.

Методи, що використовуються для дослідження імовірнісних і детермінованих систем, в більшості випадків різні. Наприклад, для дослідження детермінованих систем найчастіше застосовують апарат диференціальних рівнянь і теорію автоматичного регулювання, а для дослідження імовірнісних – апарат теорії ймовірностей і методи математичної статистики.

У цілому, дослідження всіх видів систем засновано, головним чином, на вивченні зв'язків між елементами, структурами і підсистемами цих систем.

Основними є три види зв'язку:

– *стохастичний* – між випадковими подіями і випадковими величинами, що описують імовірнісну природу системи;

– *функціональний* – між структурами, обумовлений кількісним впливом зміни характеристики однієї структури на зміну характеристики іншої структури;

– *причинний* – зв'язок між подіями (з точки зору причина–наслідок).

Пояснимо **поняття стохастичного (кореляційного) зв'язку**. Для цього нагадаємо, що випадкова подія – це така подія, яка за даних умов може відбутися або не відбутися, а випадкова величина – це величина, яка приймає в результаті досвіду одне з безлічі можливих значень, причому поява того чи іншого значення цієї величини являє собою випадкову подію.

Наприклад, захворювання на грип людини, що знаходилася деякий час в контакті з інфекційним хворим, є випадковою подією. Тут слід звернути особливу увагу на правильне розуміння визначення «випадковість»: зрозуміло, в самому грипі в зимовий період в умовах мегаполісу нічого випадкового немає, і до того ж його поява є скоріше закономірною, ніж випадковою. А втім, ми називаємо таке захворювання випадковою подією, оскільки його могло б і не бути, причому заздалегідь з повною достовірністю передбачити, відбудеться воно чи ні, було б неможливо. У контакті з інфекційним хворим міг бути не один, а кілька здорових людей. Деякі з них через якийсь час захворюють. Захворювання кожного з них – випадкова подія, відсоток же захворілих із загальної кількості людей, що знаходилися в контакті – випадкова величина, передбачити заздалегідь її було неможливо.

Якщо значенню однієї величини відповідає строго певне значення іншої, то залежність між ними називається **функціональною**. Можна, наприклад, припустити, що в деяких межах, зміни кров'яного тиску майже лінійно залежать від дози прописуємо препарату. У цьому випадку, знаючи орієнтовне значення відповідного структурного коефіцієнта, для лікаря не становитиме труднощів обґрунтувати цю дозу для конкретного хворого.

Вивчення **причинного зв'язку** між подіями дозволяє будувати причинно-наслідкові схеми, які пов'язують деяку подію, яку ми приймаємо за вихідну, з подіями, що йдуть за вихідними. Завданням в даній ситуації є, по-перше, виділення серед цих подій найбільш важливих (обмеження причинно-наслідкової схеми) і, по-друге, виділення подій, які можуть виникнути тільки як наслідок початкового.

Причинно-наслідкові схеми є дуже перспективними для медичної діагностики, де вихідною подією можна вважати первинне порушення (захворювання), а наслідком – пов'язані із захворюванням патологічні явища (симптомокомплекс). Виявлення такого симптомокомплексу буде з великою ймовірністю свідчити про наявність захворювання.

Основні властивості систем та їх особливості

Основні властивості системи:

Цілеспрямованість. Визначає поведінку системи.

Складність. Багато систем (у тому числі медичні) характеризуються великою кількістю неоднорідних елементів і зв'язків. Вони залежать від безлічі компонентів, що входять у систему, їх структурної взаємодії, від складності та динамічності внутрішніх і зовнішніх зв'язків. Ступінь складності є визначальною властивістю системи. Складність у застосуванні до систем має різний сенс: структурна, динамічна, обчислювальна. Зазвичай ступінь складності оцінюється кількістю інформації, необхідної для опису реальної системи. При такому підході оцінка складності системи проводиться через спостерігача. Наприклад, для нейрофізіолога мозок складний і його адекватний опис вимагає багато інформації, для м'ясника мозок простий, тому що йому потрібно тільки відокремити його від інших сортів м'яса. Розрізняють складність систем і складність завдань. Останню називають обчислювальною складністю.

Подільність. Система складається з ряду підсистем і елементів, виділених за певною ознакою, що відповідає конкретним цілям і завданням.

Цілісність. Функціонування безлічі елементів системи підпорядковане єдиній меті. При цьому система проявляє інтегративні, емерджентні властивості, тобто властивості притаманні системі в цілому, але відсутні в окремо взятих її елементах.

Різноманіття елементів і відмінності їх природи. Це пов'язано з їх функціональною специфічністю і автономністю.

Структурованість. Визначається наявністю встановлених зв'язків і відносин між елементами всередині системи, розподілом елементів системи за рівнями та ієрархією.

Адаптивність системи полягає в здатності системи зберігати свої функції при впливі навколишнього середовища, тобто реагувати на середовище так, щоб отримати сприятливі наслідки для діяльності системи.

Найменш адаптивними є неживі системи, більш адаптивні біологічні (живі системи) та біотехнічні, найбільш адаптивними є соціальні системи. Властивості адаптивності тісно пов'язані з життєздатністю систем, яка полягає в здатності зберігати рівновагу із середовищем.

Системний аналіз

Системний аналіз знайшов широке застосування в різних сферах діяльності. Він застосовується при моделюванні процесів прийняття рішень в ситуаціях з великою початковою невизначеністю, при розробці інформаційних систем та ін.

Системний аналіз застосовується в тих випадках, коли завдання (проблема) не може бути відразу представлена і вирішена за допомогою формальних, математичних методів, тобто має місце велика початкова невизначеність проблемної ситуації і багатокритеріальність завдання. Застосування системного аналізу допомагає організувати процес колективного прийняття рішення, об'єднуючи фахівців різних галузей знань.

Основним методом системного аналізу є розбиття проблеми на більш доступні для огляду задачі, що краще піддаються дослідженню, при збереженні цілісного (системного) уявлення про об'єкт дослідження і проблемну ситуацію.

Системний аналіз передбачає розбір системи на її підсистеми з наміром з'ясувати, яка з підсистем і чому може (не може) виконати поставлені перед нею цілі (підцілі). Поняття «система» і «мета системи» нерозривно пов'язані між собою, а системний аналіз дозволяє відповісти на питання, чому дана система може або не може виконати дану мету.

Далеко не кожен аналіз проблеми є системним. Наприклад, органно-морфологічний аналіз дозволяє провести класифікацію хвороб за зовнішніми анатомічними ознаками (ознаками структури, будови, форми), за органними (кардіо ... , пульмо ... , гастро ... , та ін.) і за морфологічними (пухлини, запалення, дефекти будови та ін.). По суті він є структурним аналізом і його основним аналітичним інструментом є статистичні математичні моделі. Однак такий аналіз не дає системну класифікацію хвороб. Це пов'язано з тим, що центральним поняттям «система» є поняття «мета», а органно-морфологічний аналіз може лише показати, з яких елементів складається даний об'єкт. При цьому органно-морфологічний аналіз не пояснює, для якої мети він призначений і яка роль кожного елемента в досягненні даної мети (об'єкт «складається з ... і призначено для ...»).

Найважливішою ланкою системного аналізу є формулювання конкретної мети. При цьому мета системного аналізу розглядається з точки зору мети прийняття рішення. Під метою розуміють призначення системи в рамках конкретного завдання. Більшість систем є багатоцільовими, оскільки для будь-якої системи можна скласти кілька наборів обмежень, що призводить до нових цілей, а отже, і до нових завдань. Постановка мети дозволяє на самому початку вирішення завдання сформулювати безліч допустимих рішень, що відповідають поставленій меті.

Наприклад, метою завдання є вибір оптимальної тактики лікування пацієнтів з деяким комплексом захворювань і симптомів. Спочатку підходять багато ліків. Сформулюємо набір обмежень:

- форма випуску препарату – таблетки;
- режим прийому – один раз на день;
- відсутність побічних ефектів (облік протипоказань);
- вартість не більше 100 грн;
- наявність препарату в аптеці.

Як можна бачити, набір обмежень значно звужує кількість рішень.

Цілі можуть бути *негативні* і *позитивні*. Пов'язано це з тим, що проблеми бувають двох видів: одні з них пов'язані з руйнуванням, усуненням або обмеженням чого-небудь, інші – з досягненням або придбанням чого-небудь. Вирішення проблем першого типу означає позбавлення від джерела незадоволеності існуючим положенням (наприклад, від хвороби, шуму) – це негативні цілі. Вирішення проблем другого типу означає отримання доступу до джерела задоволення (наприклад, придбання потрібних ліків) – позитивні цілі.

Позитивні і негативні цілі – поняття відносні. Наприклад, бажання позбутися від хвороби можна розглядати як бажання стати здоровим. Однак до подібного отождіння слід підходити обережно. Якщо, наприклад, хтось просто не хоче проходити курс лікування, то позбавлення (відмова) від цього лікування являє собою негативну ціль. Проте, якщо це небажання пов'язано з тим, що лікування буде проводитися іншим, більш ефективним методом, то це вже позитивна ціль.

Позитивна ціль часто передбачає наявність і негативної цілі, однак зворотне твердження невірне: позбавлення від того, що небажано, не завжди рівносильне досягненню того, що бажано. Так, наприклад, позбавлення від зубного болю прийомом ліків або видалення зуба не може забезпечити повного здоров'я організму людини. У той же час при досягненні позитивної цілі – забезпечення повного здоров'я – автоматично досягається позбавлення від зубного болю.

Зусилля, спрямовані на позбавлення від того, що небажано (негативні цілі), являє собою *ретроспективне*, орієнтоване на аналіз минулого, рішення проблем. Зусилля, спрямовані на досягнення того, чого немає, але що необхідно (позитивні цілі), являють собою *перспективне*, спрямоване в майбутнє, рішення проблем.

Проблема визначення справжньої мети системи є дуже важливим етапом і вимагає правильного вибору критерію ефективності вибору мети. Найважливішими вимогами при цьому є:

- показність (критерій повинен прямо відображати мету системи, повністю їй відповідати, оцінювати ефективність основного, а не другорядного завдання);
- критичність до досліджуваних параметрів (чутливість критерію до змін досліджуваних параметрів);
- максимально можлива простота (введення в нього другорядних величин може ускладнити дослідження).

Конкретні приклади вибору критеріїв ефективності в даній лекції розглядатися не будуть.

Таким чином, головним завданням системного аналізу є пошук шляхів з перетворення складного в просте, з розкладання важко зрозумілої задачі на ряд завдань, для яких є відпрацьовані методи дослідження або рішення. Розчленування складних проблем на прості в багатьох випадках дозволяє оцінювати їх не тільки якісно, але і кількісно, а отже, підвищити точність пізнавального процесу. Для кількісної оцінки ефективності досягнення цілей системи використовують заходи (критерії) ефективності.

Визначення меж системи в цілому та навколишньому середовищу. Система в цілому включає всі системи, які, імовірно, будуть впливати на розглянуту проблему. Методом виключення ми відносимо до навколишнього середовища всі системи, які не були включені в систему в цілому і які не впливають на розглянуту проблему. Якщо в систему в цілому включити мало систем – це призведе до надмірного спрощення і невірних рішень, якщо занадто багато – це ускладнить опис, не вистачить обчислювальних ресурсів, і ми не зможемо знайти рішення. Таким чином, межі системи залежать від цілей аналізу, необхідної точності результату і наявних ресурсів.

Наприклад, якщо мова йде про лікування одного пацієнта (розв'язувана проблема), головний лікар може обмежитися рамками лікарні. Однак можуть з'явитися фактори, що виводять межі системи за рамки лікарні: ускладнення, які неможливо лікувати в даній лікарні; негативне ставлення родичів до даної лікарні та ін. Якщо ж мова йде про планування бюджету лікарні (розв'язувана проблема), то до уваги братимуться інші системи і їхні інтереси. Зміна цілі призведе до зміни можливих рішень і впливатиме на інші системи. Наприклад: лікаря цікавить рівень заробітної плати та умови його роботи; пацієнт потребує якісної медичної допомоги та максимальної кількості медичних послуг; суспільство в цілому зацікавлене в якійсь охороні здоров'я при мінімально можливих податках; держава розглядає охорону здоров'я як статтю витрат; лікарня в цілому прагне до надання лікування найкращої якості.

Методи системного аналізу

Як вже згадувалося вище, головним завданням системного аналізу є пошук шляхів з перетворення складного в просте, з розкладання важкозрозумілої задачі на ряд завдань, що мають рішення, або завдань, для яких є відпрацьовані методи дослідження. Розкладання складних медичних проблем на прості в багатьох випадках дозволяє оцінювати їх не тільки якісно, але і кількісно, а значить, підвищити якість діагностики, лікування та ін.

Для вирішення завдання розкладання складного на більш простіші складові системний аналіз має низку методів:

- експертно-інтуїтивні, або неформальні, методи: експертних оцінок, сценаріїв, «мозкового штурму»;
- кількісні (формальні) методи: статистичні та інші математичні методи;
- графічні методи: дерево цілей, дерево взаємозв'язків;
- методи моделювання: імітаційні, ігрові, макетні моделі.

Коротко зупинимося на основних видах експертно-інтуїтивних методів.

Метод експертних оцінок базується на отриманні, обробці та узагальненні інформації спеціалістів (експертів), які мають високу кваліфікацію та досвід у відповідній галузі знань (діяльності).

Метод «мозкового штурму» базується на стимулюванні творчої продуктивної діяльності експертів шляхом спільного обговорення конкретної проблеми, яка регламентується певними правилами. При цьому «забороняється» оцінка якості запропонованих ідей, обмежується час одного виступу, обов'язково фіксуються всі запропоновані ідеї та ін.

Метод створення сценаріїв частіше використовується при вирішенні задач прогнозування. Сценарій – це опис ймовірного розвитку процесу чи стану в майбутньому. Зазвичай складають три типи сценаріїв: оптимістичний, середній і песимістичний.

Одним з основних завдань побудови дерева взаємозв'язків, що відноситься до графічних методів системного аналізу, є знаходження повного набору елементів системи на кожному рівні аналізу, визначення взаємозв'язку і підпорядкованості між ними, а також визначення коефіцієнта відносної важливості елементів кожного рівня.

Наприклад, для медичної проблеми структура такого дерева визначається в результаті деталізації проблеми в напрямку розкриття її змісту, аж до конкретних нормативних значень окремих показників. Ці показники (елементи) характеризують міру досягнення поставленої медичної мети. Головною метою на нульовому (генеральному) рівні є сама мета проблеми (наприклад, забезпечити необхідний рівень медичного обслуговування). На першому рівні цілей розкривається зміст головної мети, для чого вона структурується на окремі компоненти (цілі першого порядку) за принципом охоплення всіх напрямків медичного обслуговування. На другому рівні проводиться подальша конкретизація головної мети. На третьому, а при необхідності і на четвертому рівні формулюються конкретні значення нормативних показників поставленої медичної мети. Наприклад, таким конкретним нормативом може бути підвищення рівня медичного обслуговування у два рази.

Системний аналіз патогенезу та симптомокомплексів хвороби

Складність організму як системи визначається наявністю в ньому величезної кількості зв'язків на всіх рівнях. Безпосередньо або опосередковано всі підсистеми пов'язані між собою. Завдяки наявності величезної кількості взаємозв'язків у здоровому організмі немає органів або груп клітин, що функціонують ізольовано і незалежно один від одного. Так, наприклад, підсистема дихання пов'язана з кровоносною підсистемою, яка, у свою чергу, пов'язана з усіма іншими підсистемами та ін.

Організм людини є відкритою системою, на яку постійно впливають зовнішні фактори: температура, вологість, сонячна радіація тощо. Будь-які зміни цих факторів викликають адаптаційні зміни в самому організмі і зветься *збурюючими впливами*. Крім того, організм пов'язаний з навколишнім середовищем ще й енергетично, тому що споживає ззовні необхідні енергетичні компоненти (кисень, жири, білки, вуглеводи).

Крім зв'язків, спрямованих від середовища до організму, існують ще й зв'язки від організму до середовища. Ці зв'язки обумовлені функціями виділення харчових відходів, продуктів обміну, надлишку теплової енергії, надлишку рідини і солі.

Підтримка життєво важливих параметрів організму в сприятливих для нього вузьких межах, забезпечення адаптаційних властивостей організму в умовах збурюючих впливів зовнішнього середовища забезпечуються різноманітними негативними зворотними зв'язками, які певною мірою дублюють один одного. Підтримання постійними найбільш важливих параметрів (гомеостаз) здійснюється в організмі досить надійно. Вихід з ладу або ослаблення будь-якого зв'язку позначається на взаємодії між структурами більш-менш незначно, оскільки сполучне навантаження приймають на себе інші структури та інші зв'язки.

Будь-яке патологічне явище, яке виникає в органі чи тканині, за допомогою наявних зв'язків служить джерелом збурюючого впливу відносно інших органів.

Принципи системного аналізу взаємодії структур організму

Отримання цілісного, комплексного уявлення про об'єкт можливо лише в результаті вивчення його структурних компонентів.

Методологічною основою для цього є різновид системного аналізу, відомий як *структурний аналіз*. Він був розроблений в 60–70-х рр. ХХ ст. Дугласом Т. Россом. Основним поняттям структурного аналізу є структурний елемент – об'єкт, що виконує одну з елементарних функцій модельованого предмета, процесу чи явища. Структурний аналіз передбачає дослідження системи за допомогою її графічного модельного подання, яке починається із загального огляду і потім деталізується, набуваючи ієрархічну структуру. Для такого підходу характерне використання формальних правил запису. Мета структурного аналізу полягає в перетворенні загальних, розпливчастих знань про вихідну предметну область в точні моделі. Жодна окремо взята підсистема організму людини не може повністю забезпечити моделювання біологічних процесів в організмі. Тому для отримання цілісної картини функціонування організму необхідно взяти за основу опис однієї з виділених структур й інтегрувати його з іншими. Для медицини методи структурного аналізу є дуже актуальними, тому що дозволяють, зокрема, визначити патогенез захворювання. Як згадувалося вище, поділ системи на підсистеми називається *декомпозицією*.

Декомпозиція є умовним прийомом і дозволяє представити систему у вигляді, зручному для сприйняття, і оцінити її складність. У результаті декомпозиції підсистеми за певними ознаками виділяються окремі структурні елементи і зв'язки між ними. Декомпозиція служить засобом, що дозволяє уникнути труднощів у розумінні системи. Декомпозиційним рішенням вихідного глобального завдання є визначення рішення за допомогою системи взаємопов'язаних локальних завдань. При цьому йдеться про те, що приватні (або локальні) завдання є в певному сенсі менш складними, ніж вихідні завдання.

Особливу проблему становить дослідження взаємодії структур та їх впливу один на одного в процесі життєзабезпечення організму, його пристосування до наявних умов навколишнього середовища і реагування на розвиток різних видів патологічних процесів.

Розглянемо правила формалізації дослідження взаємодії між структурами, незалежними від їх рівня.

Якщо зміни Δx структури x викликають зміни Δy структури y , то це можна позначити таким чином: $\Delta x \rightarrow \Delta y$, де стрілка спрямована від причини до наслідку. При цьому, якщо збільшення x викликає збільшення y , то над стрілкою ставлять знак «плюс»: $\Delta x \xrightarrow{+} \Delta y$. Для спрощення запису знак можна не ставити.

Якщо відомо, що при зміні x на одну одиницю y змінюється на a одиниць (a – постійна величина), то форма запису залежності y від x виглядає наступним чином: $x \xrightarrow{a} y$ (в аналітичному записі це $y = a \cdot x$).

Якщо зміна характеристики структури x визначає зміну характеристики структури y , а вона у свою чергу визначає зміну характеристики z , то це записується як $x \xrightarrow{a} y \xrightarrow{b} z$, де b залежність z від y ($z = b \cdot y$).

Оскільки $y = a \cdot x$, то виключаючи y з розгляду, можна записати як $z = a \cdot b$ або $x \xrightarrow{ab} z$.

Будь-який параметр, що визначає залежність зміни характеристики однієї структури від зміни іншої, називається *структурним коефіцієнтом*.

У багатьох випадках слід вважати, що ці коефіцієнти – змінні величини, які залежать від часу доби, стану організму, стану навколишнього середовища та ін. Різними вони є і для одних і тих же взаємодіючих структур у різних індивідуумів. Наприклад, розглянемо біохімічний процес, що описує вплив адреналіну на глікогенез.

Продукція адреналіну $\xrightarrow{+a}$ Активність аденілатциклази $\xrightarrow{-b}$ Вміст АТФ $\xrightarrow{-c}$ Вміст АМФ $\xrightarrow{-d}$ Вміст фосфорилази B $\xrightarrow{-e}$ Вміст фосфорилази $\xrightarrow{-g}$ Вміст глікогену $\xrightarrow{-k}$ Вміст глюкози.

У цьому ланцюжку в результаті підвищення активності аденілатциклази зменшується вміст АТФ (b – негативне) і вміст АМФ, що у свою чергу викликає зменшення вмісту фосфорилази B та ін.

На одну і ту ж характеристику можуть одночасно впливати незалежні діяння двох або більше структур.

Якщо, наприклад, на структуру y одночасно діють структури x і z , то графічно це зображується як:

$$\begin{array}{c} z \\ \downarrow b \\ x \xrightarrow{a} y \end{array}$$

Аналітично це відповідає запису $y = a \cdot x + b \cdot z$.

Якщо оцінюється не зміна y під впливом x , а абсолютна величина характеристики y , то доцільним стає застосування формули $y = a \cdot x + k$. Графічно відповідний запис має вигляд

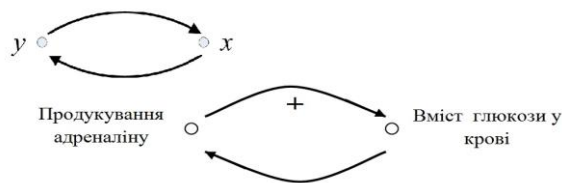
$x \xrightarrow{a} y$. Особливий випадок – наявність постійної складової k в характеристиці якоїсь структури, яка в ланцюжку взаємодіючих структур є проміжною. Найпростіша подібна схема має вигляд:

$x \xrightarrow{a} z \xrightarrow{b} y$. Аналітично вплив структур x і z на структуру y :

$$z = a \cdot x + k; y = z \cdot b; \Rightarrow y = (a \cdot x + k) \cdot b.$$

У тих випадках, коли деяка структура не тільки відчуває вплив іншої структури, а й сама робить на неї вплив, утворюється зворотний зв'язок, який носить назву *петлі зворотного зв'язку*, або просто петлі.

Графічно ця петля зображується так:



Так, наприклад, збільшення синтезу адреналіну викликає підвищення в крові глюкози. Остання при цьому більш інтенсивно витрачається в організмі, зокрема, оскільки зі збільшенням продукції адреналіну зазвичай пов'язана інтенсифікація основного обміну. Однак у випадку перевищення вмісту глюкози в крові необхідного рівня проявляється негативний зворотний зв'язок з клітинами мозкового шару кори надниркових залоз, в результаті чого синтез адреналіну знову знижується.

Подібні випадки взаємостимуляції спостерігаються у процесі розвитку організму, коли відбувається узгоджене збільшення маси окремих органів і тканин.

Крім того, можливий ще один, досить рідкісний варіант, характерний для деяких процесів розвитку організму, коли відбувається елімінація (висновок, виняток) якої-небудь структури і заміщення її функцій іншою структурою. Процес взаємодії при цьому завершується, якщо хоча б одна із взаємодіючих структур або припиняє своє існування, або має місце її якісне переродження. Наприклад, збільшення матки під час вагітності стимулюється розвитком плоду, зростання якого у свою чергу стимулюється збільшенням матки протягом усього періоду розвитку аж до пологів.

Причинний аналіз явищ, що виникають при патологічному процесі

При причинному аналізі патологічного процесу можна виділити незначну кількість ланок (найчастіше одну), які є для цього процесу початковими. Саме на ці ланки діють фактори, які є першопричиною захворювання. Таку ланку (ланки) можна назвати основною у патогенезі даного захворювання. Наприклад, стеноз лівого атріовентрикулярного отвору є основною ланкою в системі великої кількості наступних порушень: формування постійного надмірного внутрішнього тиску і, як наслідок, розширення лівого передсердя, порушення функції правого шлуночка через недостатнє надходження в нього крові; застій у великому колі кровообігу внаслідок зменшення обсягу крові, що перекачується серцем, тощо.

Первинне порушення в основній ланці називається патологічним явищем 1-го порядку, порушення, що виникає як наслідок первинного – 2-го порядку та ін. (1, 2, 3, 4 на *рис. 8.5*).

Вивчення причинного зв'язку між подіями дозволяє будувати причинно-наслідкові схеми. Метод причинно-наслідкових схем вельми перспективний в медичній діагностиці, де вихідною подією може вважатися первинне порушення, яке, по суті, і є захворюванням, що діагностується. Наступними подіями в причинно-наслідковій схемі є патологічні явища, викликані первинним порушенням. Таким чином, причинно-наслідкові схеми дозволяють визначати, наприклад, першопричину того чи іншого порушення організму людини (основна ланка).

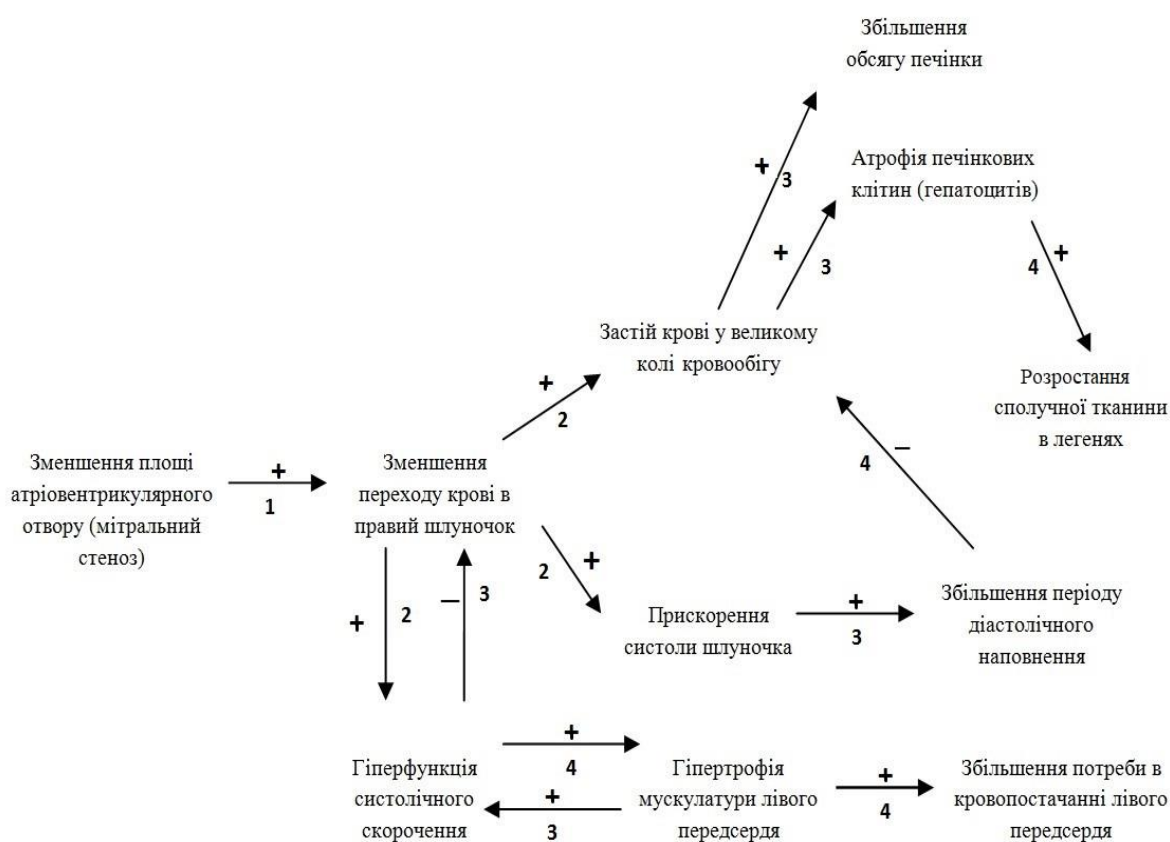


Рис. 8.5. Причинно-наслідкові зв'язки, що виникають при стенозі мітрального клапана

Питання, винесені на семінар

- Загальні поняття теорії систем:
 - Ознаки, що дозволяють відрізнити систему від «не системи».
 - Структура системи. Типи структури системи (лінійний, ієрархічний, мережевий, матричний).
 - Детерміновані (повністю детерміновані) й імовірнісні системи. Методи, що використовуються для дослідження цих систем.
 - Зв'язки між елементами, структурами і підсистемами систем.
 - Основні властивості систем та їх особливості.
- Системний аналіз і основні його етапи.
- Методи системного аналізу.
- Особливості системного аналізу при вирішенні медичних завдань.

Тестові завдання для самоконтролю

- В якому із запропонованих нижче завдань доцільно використовувати метод системного аналізу «чорний ящик»?
 - Дослідження ринку збуту лікарських препаратів. Вхідні параметри – попит споживача і характеристики фірми-виробника ліків. Виходом є реалізація товарів. «Чорний ящик» – поведінка споживачів.
 - Дослідження фармакокінетичних властивостей фармакологічного препарату, синтезованого на основі комп'ютерного моделювання.
 - Дослідження стійкості титанового протеза кістки до температурних змін зовнішнього середовища.
 - Дослідження часової залежності об'ємної швидкості течії крові в периферичних судинах для різних фаз серцевого циклу на підставі гідродинамічної моделі просування крові в судинному руслі (моделі Франка).
 - Проведення експерименту в космічних умовах. Вхідні параметри – умови польоту, вихідні – фізіологічні показники космонавта. «Чорний ящик» – організм людини.
- Впливи, які призводять до змін:
 - Викликають адаптаційні зміни в організмі людини.
 - Забезпечують гомеостаз організму.
 - Це такі, які призводять до порушення або ослаблення будь-якого зв'язку в організмі.
 - Являють собою зв'язок, спрямований від організму до середовища.
 - Це параметри моделі, що дозволяють простежити зміни стану системи в часі.
- Між елементами систем, їх структурами і підсистемами існує три основних види зв'язків: стохастичний, функціональний, причинний. Який з наведених нижче прикладів відповідає функціональному виду зв'язків?
 - Поява зорового образу улюбленої їжі і початок слиновиділення.
 - Поява раку легенів у курців.
 - Мітральний стеноз і застій крові у великому колі кровообігу.
 - Зниження рівня артеріального тиску залежно від дозування антигіпертензивних препаратів.
 - У наведеному вище списку прикладів функціональних зв'язків не міститься.
- Метод створення сценаріїв найчастіше використовується при вирішенні задач:
 - Класифікації.
 - Відновлення даних.
 - Прогнозування.
 - Створення поведінкових алгоритмів.
 - Формалізації.
- З точки зору системного аналізу, якщо рішення проблеми передбачає досягнення або придбання чого-небудь, то в основі цього лежить:
 - Негативна мета.
 - Позитивна мета.
 - Недостатня кількість представників критерію ефективності.
 - Надлишкове представництво критерію ефективності.
 - Надмірне ускладнення системи при визначенні її меж.
- Дослідження системи за допомогою її графічного модельного уявлення, що починається загальним оглядом, який потім деталізується, набуваючи ієрархічну структуру, називається:
 - Структурним аналізом.
 - Деревом рішення.
 - Блок-схемою.
 - Алгоритмізацією.
 - Графіком.
- Виберіть метод, який використовується для вирішення головного завдання системного аналізу, що базується на стимулюванні творчої продуктивності експертів шляхом спільного обговорення конкретної проблеми, яка регламентується певними правилами:
 - Метод в списку не вказано.
 - Метод «мозкового штурму».
 - Метод створення сценаріїв.
 - Формальний метод.
 - Метод моделювання.

ТЕМА 9 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ МЕДИКО-БІОЛОГІЧНИХ ДАНИХ. ОБРОБКА І АНАЛІЗ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Поняття медичного зображення

Найдосконалішим сенсором людини є орган зору. Органи зору утворені мозаїкою 125×10^6 скотонічних (палички) і $5,5 \times 10^6$ фотонічних (колбочки) детекторів з щільністю $1,6 \times 10^5$ рецепторів/мм². Мінімальна енергія випромінюваного світла в смузі від 380 до 760 нм, яку здатно детектувати око, дорівнює $1,4 \times 10^{-17}$ Дж. Максимальна енергія, яка сприймається оком, в 10^9 разів більше. Для паличок поріг чутливості дорівнює одному кванту світлової енергії, для колбочок – від 5 до 7 квантів. Швидкість передачі інформації від органу зору до мозку найбільша серед усіх сенсорів і дорівнює 3×10^6 біт/с. Наведені властивості ока свідчать про те, що саме завдяки зору людина здатна сприймати найбільшу кількість інформації в найкоротший час.

Унікальні властивості зору людини зумовили доцільність подання різноманітної інформації, у тому числі і ту, яка одержана під час медико-біологічних, лабораторних і клінічних досліджень і обстежень, у візуальній формі, тобто у вигляді, зручному для сприйняття людським оком.

Інтроскопія (лат. *intro* – усередині) – візуальне спостереження об'єктів і процесів в оптично непрозорих середовищах за допомогою звукових або радіохвиль, рентгенівського або інфрачервоного випромінювання.

Томографія (грец. *tomos* – шар) – метод інтроскопії, що полягає в отриманні тіньового зображення окремих шарів досліджуваного об'єкта.

Протягом двох останніх десятиліть технологія медичної інтроскопії (*medical imaging*) або технологія отримання зображень внутрішніх органів людини пережила ряд принципових змін. Раніше в розпорядженні лікарів були лише рентгенівські знімки, які давали деяке уявлення про досліджувані органи у вигляді накладення тіней на зображеннях. Ці зображення відрізнялися низькою контрастністю і відсутністю будь-якої інформації про глибину об'єктів.

Використання комп'ютерів дало можливість розвиватися новим напрямкам томографічної інтроскопії, таким як комп'ютерна томографія (*КТ*), магнітна резонансна томографія (*МРТ*) та позитронна емісійна томографія (*ПЕТ*). За допомогою томографічної апаратури можна отримати знімки безлічі перерізів тіла пацієнта, які характеризують особливості його анатомії і фізіології. Ці знімки з надзвичайною чіткістю показують різні органи, причому зображення органів не накладаються один на інший. Математичні методи дозволяють реконструювати тривимірну структуру органів за безліччю паралельних перерізів.

Медичне зображення може бути отримане радіологічними методами (радіаційна інтроскопія) або без застосування іонізуючих випромінювань (не радіологічні методи). При радіологічних дослідженнях використовуються іонізуючі випромінювання, в основному електромагнітної природи (наприклад, рентгенографія, комп'ютерна томографія, позитронно-емісійна томографія). До методів, що не використовують іонізуюче випромінювання, відносяться, наприклад, ультразвукові дослідження, ендоскопія, *МРТ*.

Далі будемо розглядати переважно медичні зображення, отримані радіологічними методами. Саме тому під поняттям «медичне зображення» будемо розуміти доступну зоровому сприйняттю картину просторового розподілу будь-якого виду випромінювання, трансформованого у видиму частину оптичного діапазону. Це зображення фотографується або виводиться на монітор комп'ютера.

Медичне зображення як об'єкт медичної інформатики

Все розмаїття медичних зображень, незалежно від способів їх отримання, може бути віднесено до однієї з двох основних груп: аналогове і цифрове (матричне).

До аналогових зображень відносяться ті, які несуть в собі інформацію безперервного характеру. Наприклад, зображення на звичайних рентгенограмах, сцинтиграмах, термограмах. До цифрових (матричних) зображень відносяться такі, що отримані за допомогою комп'ютера. Вони мають у своїй основі матрицю, яка знаходиться в пам'яті *ПК*. Матричними зображеннями є образи, які отримані при комп'ютерній томографії, цифровій рентгенографії, *MP*-томографії, *ЕОМ*-сцинтиграфії з комп'ютерною обробкою інформації, ультразвуковому скануванні. Таким чином, матричні зображення на відміну від аналогових мають дискретний характер. Оскільки в основі матричних зображень лежить комп'ютеризована технологія, вони стають доступними для різноманітної обробки за допомогою *ЕОМ*.

Треба відзначити, що аналогові зображення можуть бути перетворені в матричні і, навпаки, матричні – в аналогові. З цією метою застосовують спеціальні пристрої: аналого-цифрові (*АЦП*) і цифро-аналогові (*ЦАП*) перетворювачі.

Матричне зображення формується шляхом сканування електронним променем по рядках. Тим самим створюється можливість для сприйняття зображення в реальному часі. Для цього застосовується спеціальний дисплейний процесор, який через систему зв'язку (інтерфейс) підключений до основної ЕОМ. Пам'ять дисплейного процесора організована у вигляді матриці, кожному елементу якої відповідає своя ділянка дисплея. Подібна елементарна одиниця пам'яті отримала назву «піксель» (від англ. *Pixel = picture element* – елементарна одиниця плоского зображення). Таким чином, вся площа екрану дисплея являє собою матрицю – сукупність пікселів. У променевої діагностиці площа дисплея може формуватися у вигляді наступних матриць: 32×32 ; 64×64 ; 128×128 ; 256×256 ; 512×512 ; 1024×1024 пікселів. Чим на більшу кількість пікселів розбивається площа дисплея, тим вище роздільна здатність системи відображення.

Кожен піксель зображення записується в пам'яті різною кількістю біт – від 2 до 16. Чим більшою кількістю біт інформації представлений кожен піксель зображення, тим краще зображення за своїми зоровими якостями і тим більше інформації воно містить про досліджуваний об'єкт. Так, 6-бітний піксель (байтова система запису пікселя), що найчастіше використовується в ультразвуковій діагностики, містить $2^6 = 64$ відтінки сірого кольору (від чорного до білого). У радіонуклідній діагностики використовують переважно 8-бітний піксель, у нього $2^8 = 256$ градацій, тобто рівнів сірого. Неважко підрахувати, що матричне зображення 64×64 пікселів у радіонуклідній діагностики вимагає 4096 байт пам'яті, а зображення 128×128 пікселів – 16 384 байт.

Більш досконалі системи радіонуклідної діагностики мають зображення 256×256 і навіть 512×512 пікселів. Для формування таких зображень необхідно при 8-бітному пікселі близько 64 і 256 кілобайт пам'яті комп'ютера відповідно. Збільшення обсягу задіяної пам'яті неминуче призводить до зниження швидкості обміну інформацією, що супроводжується збільшенням часу, необхідного для побудови кожного кадру зображення. Тому й детальніші растри (256×256 і 512×512) застосовують переважно для отримання статичних зображень, тобто в діагностиці осередкових змін в органах, тоді як грубі растри (64×64 та 128×128) використовують головним чином для динамічних досліджень.

Всі медичні зображення в променевої діагностиці можуть існувати у вигляді твердих копій – рентгенограм, відбитків на папері, фотопапері, на магнітних носіях – стрічках або в нефіксованому вигляді – на екрані дисплея або рентгенодіагностичного апарату.

Об'єкти медичного зображення можна розділити на тверді фрагменти (кістки) і фрагменти, які можуть деформуватися (структури м'якої тканини) або на статичні фрагменти (череп) і динамічні (серце, рухливі з'єднання).

Методи медичної візуалізації

Сучасні інформаційні технології дозволяють сьогодні оперувати трьома основними типами зображень:

- двовимірними (планарними);
- тривимірними (3D-рендеринг);
- чотиривимірними (4D-рендеринг), де як четвертий вимір виступає час.

Способи візуалізації медичних зображень:

- рентгенологічні (рентгенографія, ангіографія, КТ та ін.);
- магнітно-резонансні (МР томографія);
- ультразвукові (ехокардіографія тощо);
- радіонуклідні (ПЕТ та ін.);
- інші.

Для отримання двовимірних медичних зображень (2D) використовується, наприклад:

- рентгенографія;
- комп'ютерна томографія;
- ядерний магнітний резонанс;
- 2D-ультразвук.

Для отримання тривимірних зображень (3D) використовують:

- послідовність радіологічних зображень чи томографічне зображення динамічного об'єкта;
- об'ємне томографічне зображення частини нерухомого об'єкта.

Коротко опишемо деякі згадані методи.

Рентгенографія (звичайна радіологія) використовує іонізуюче випромінювання від джерела рентгенівських променів. Це найбільш поширений метод у відділеннях радіології. Зображення реєструється на плівці, що чутлива до рентгенівських променів, і може бути потім переведено в цифрову форму. Можна отримати і безпосередньо цифрові зображення, обминаючи стадію рентгенівської плівки – у нових апаратах, які замість плівок використовують спеціальні матриці (рис. 9.1).



Рис. 9.1. Рентгенограма людини



Рис. 9.2. Рентгеноскопічне зображення черевної порожнини людини

Ангіографія – метод контрастного дослідження кровоносних судин, що використовується в рамках рентгенографічних, рентгеноскопічних досліджень, в комп'ютерній та магнітно-резонансній томографії тощо. Ангіографія показує функціональний стан судин, обхідного кровотоку і довжину патологічного процесу (рис. 9.3). Дослідження дозволяє виявити пошкодження і вади розвитку кровоносних судин: аневризми, звуження судин, мальформацію, порушення прохідності судин (атеросклероз, тромбоз), а також пошкодження і вади розвитку різних органів, пухлини.

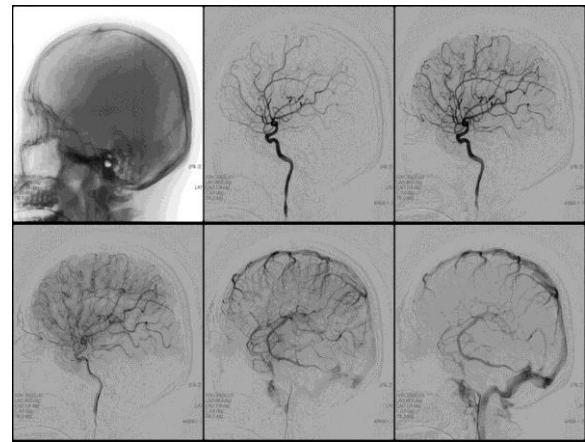


Рис. 9.3. Ангіограма судин головного мозку людини

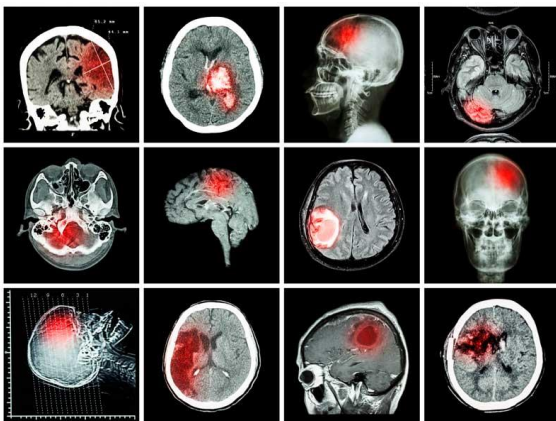


Рис. 9.4. Томографічне зображення черепа людини при КТ

Комп'ютерна томографія також використовує рентгенівські промені, але замість одного плоского зображення *КТ*-зображення отримується в результаті комп'ютерної обробки безлічі проєкцій (так званих променевих сум), що реконструюються в зображення (рис. 9.4).

При **МР-томографії** комп'ютер відновлює зображення від отриманих радіосигналів, інтенсивність і тривалість яких залежить від біологічних характеристик тканини. Не використовуючи іонізуюче випромінювання, ядерний МР-томограф дає зображення, вигляд яких залежить від обміну речовин і характеристик тканини (рис. 9.5).

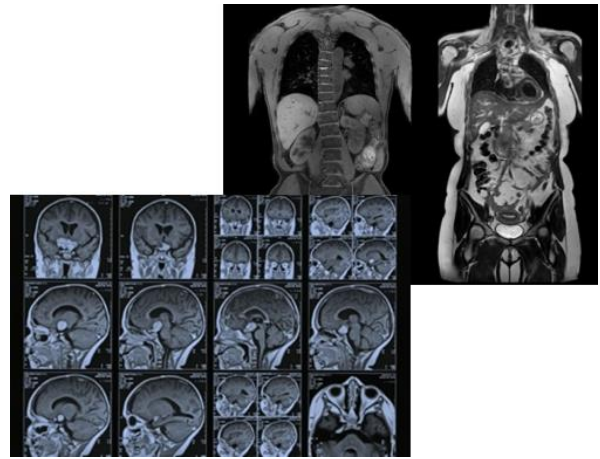


Рис. 9.5. Томограми тулуба і черепа людини при МРТ

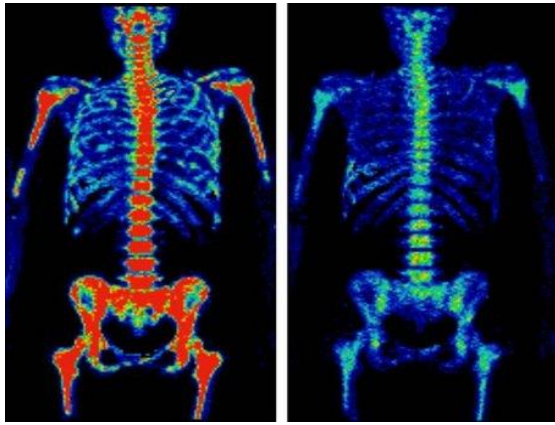


Рис. 9.6. Томограма тулуба людини при ПЕТ

Позитронно-емісійна томографія – це метод радіонуклідного томографічного дослідження внутрішніх органів людини. Метод заснований на реєстрації пари гамма-квантів, що виникають при анігіляції позитронів з електронами (рис. 9.6).

Сцинтиграфія – метод функціональної візуалізації, що полягає у введенні в організм радіоактивних ізотопів і отриманні двовимірного зображення шляхом визначення випромінювання, що випускається ними (рис. 9.7).

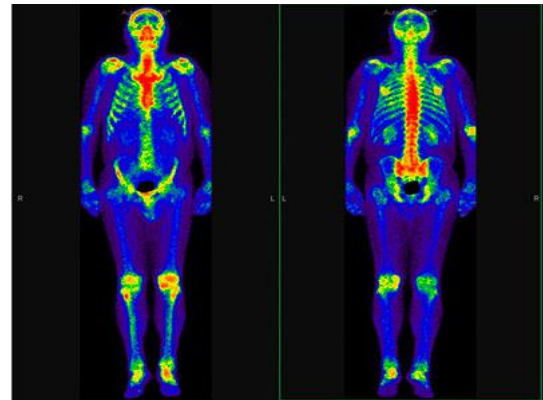


Рис. 9.7. Сцинтиграма людини



Рис. 9.8. Ультразвукові сканограми плода

Ультразвуковий метод використовує звукові (механічні) коливання високої частоти. Зонд випромінює ультразвукові імпульси і отримує відбиті імпульси, які за допомогою п'єзоелектричних датчиків перетворюються на електричні сигнали. Сигнали, які отримані від декількох напрямків сонування, перетворюються в цифрову форму і обробляються, внаслідок чого утворюється зображення (рис. 9.8).

Ультразвукова доплерографія – метод дослідження кровотоку, який засновано на аналізі зміни частоти ультразвукових хвиль, які відбиваються від часток крові, що рухаються. Він будується на абсолютно безпечній методиці, використовує дефект Доплера (рис. 9.9).

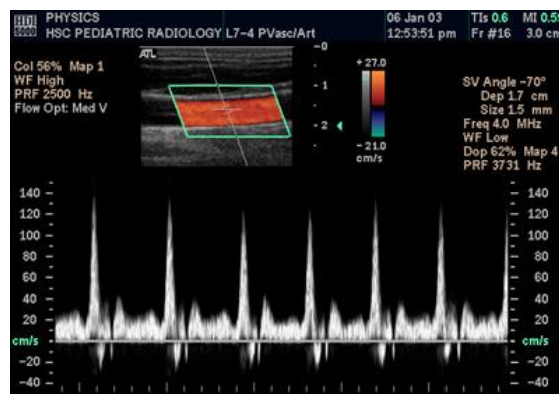


Рис. 9.9. Зображення спектральної доплерографії загальної каротидної артерії

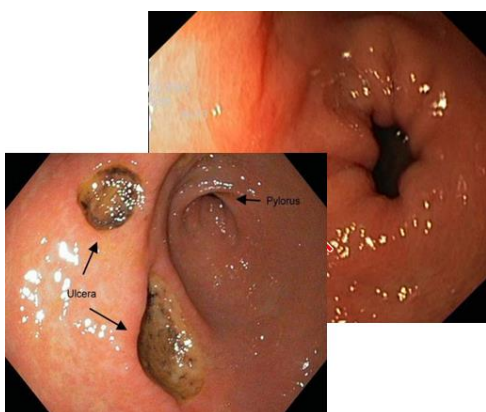


Рис. 9.10. Зображення ендоскопічного дослідження кишково-шлункового тракту

Ендоскопія – метод дослідження внутрішніх органів за допомогою освітлювальної та оптичної систем – ендоскопів. Цей метод широко використовується з діагностичною і лікувальною метою в хірургії, гастроентерології, пульмонології, оториноларингології та в інших галузях медицини (рис. 9.10).

Медична термографія – це метод обстеження пацієнтів за допомогою спеціального приладу – тепловізора, який дозволяє вловлювати інфрачервоне випромінювання і перетворювати його на зображення – термограму, яка реєструє розподіл тепла на поверхні тіла (рис. 9.11).

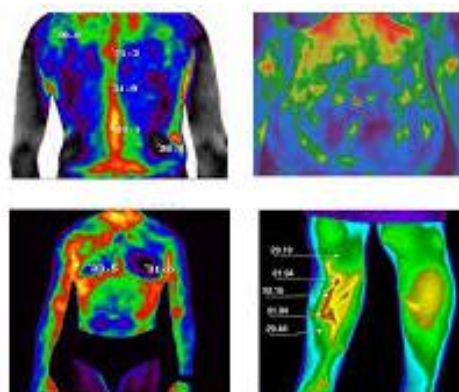


Рис. 9.11. Термограми тіла людини

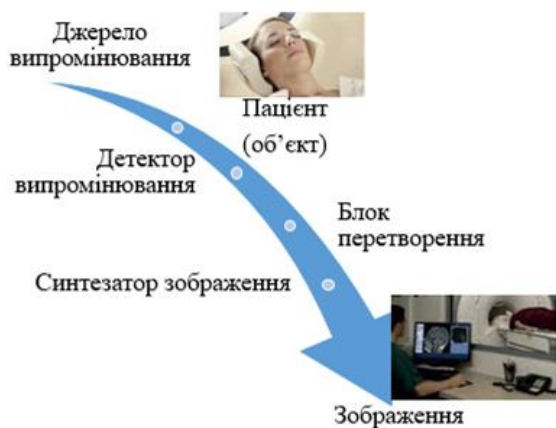


Рис. 9.12. Схема отримання зображення

Під час **радіонуклідних досліджень** в організм вводиться радіоактивна мітка, що має тропізм до певного виду тканини. Випромінювання, що здійснюється міткою, фіксується за допомогою чутливої до радіації камери. З розвитком систем і методів обробки біологічних сигналів, а також методів їх візуалізації стало можливим отримувати видимі відображення розподілу багатьох інших інформативних параметрів біологічних тканин (ГЧ-поглинання, електричного імпедансу та ін.). Відновлене зображення використовується для оцінки функції органу. Всі радіологічні методи отримання зображення можуть бути представлені у вигляді схеми (рис. 9.12).

У деяких діагностичних системах інформаційні сигнали з детектора надходять у блок перетворення і передачі сигналу. Призначення цього блоку – підвищити інформаційну ємність сигналу, прибрати «шуми», перетворити його в зручний для подальшої передачі вигляд.

Потім перетворені сигнали передаються в синтезатор зображення. Його призначення впливає із самої назви – відновити зображення досліджуваного об'єкта – органу, частини тіла, усієї людини. Зрозуміло, що при використанні різних методик зображення буде різним. Рентгенограми розкривають перед нами переважно макроморфологію органів і систем. Радіонуклідні сцинтиграми відображають в першу чергу функціональну анатомію людини. Ультразвукове дослідження дозволяє судити про будову і функції органів шляхом аналізу їх акустичної структури. Термографія – метод оцінки теплового поля людини.

Променеві дослідження планує і проводить лікар-діагност. Це лікар, який отримав спеціальну підготовку в певній галузі променевої діагностики або оволодів усіма її розділами. Його діяльність полягає в отриманні візуальної інформації, інтерпретації результатів і затвердження діагностичного рішення.

Отримання та обробка медичних зображень

Як було зазначено вище, сьогодні більшого розповсюдження набувають цифрові (матричні) медичні зображення. Переведення в цифрову форму (з моменту отримання зображення або в подальшому, при перетворенні з аналогових зображень) полегшує обробку зображень, збереження і передачу медичних візуальних даних. Ці можливості значно розширилися з появою автоматизованих робочих місць (*АРМ*) з великим обсягом пам'яті для зберігання даних і достатньою обчислювальною потужністю.

Інформаційні технології можуть допомогти на всіх етапах отримання та обробки медичних зображень. Комп'ютери безпосередньо беруть участь в утворенні деяких типів зображень, які не можуть бути отримані іншим способом: комп'ютерна томографія, позитронна емісійна томографія, ядерний магнітний резонанс.

Цифрова обробка зображень може використовуватися з метою:

- поліпшення якості зображення шляхом компенсації дефектів реєструючої системи і зменшення шуму;
- розрахунку клінічно важливих кількісних параметрів (відстані, площі, обсягу і т. д.);
- полегшення інтерпретації (розпізнавання структури, обчислення дози для променевої терапії);
- планування автоматизованого хірургічного втручання.

Стиснення зображень зменшує обсяг пам'яті для зберігання даних і час для їх передачі.

Зберігання перетворених у цифрову форму зображень (наприклад, на CD) спрощують організацію архівів і доступ до них. Передача їх між лікувальними закладами дозволяє декільком експертам швидко консультиватися для прийняття діагностичних або терапевтичних рішень і покращує контроль діагностики і лікування пацієнта (телерадіологія, телепатологія).

У багатьох випадках для встановлення діагнозу лікар візуально аналізує зображення окремих перерізів об'єкта, отриманих при томографічному обстеженні. Однак для деяких клінічних завдань, подібних хірургічному плануванню, необхідно розуміти 3D структуру у всій її складності і бачити дефекти. Досвід показав, що «умоглядна реконструкція» об'єктів за зображенням їх перерізів (візуалізація об'єму) надзвичайно важка і сильно залежить від досвіду і уяви спостерігача. У таких випадках хотілося б уявити людське тіло так, як його побачив би хірург або анатом. Сучасні інформаційні технології дозволяють виробляти процедуру візуалізації обсягу автоматично, за допомогою комп'ютера.

Етапи візуалізації

У пам'яті *ЕОМ*, як відомо, зберігаються тільки цифрові коди. У вигляді цифрових кодів зберігаються і описи будь-яких зображень. Для перетворення цього моря нулів і одиниць в картинку на екрані комп'ютер повинен виконати певні операції. Процес візуалізації цифрових кодів зображення називається рендеринг. Для його здійснення використовують поняття елементарних одиниць зображення: піксель і воксель (об'ємна одиниця зображення).

Наведемо огляд етапів, використовуваних при візуалізації об'єму. На *рис. 9.13* показані всі фази конвеєра візуалізації обсягу. Після отримання серії томографічних зображень частин тіла пацієнта дані зазвичай піддаються деяким процедурам передобробки для перетворення і, можливо, фільтрації. Подальша обробка може йти кількома шляхами.

При використанні конкретних методів окремі кроки обробки можуть бути пропущені, суміщені або переставлені місцями. Для поліпшення якості зображення об'єм можна піддати процедурі фільтрації, подібно до того, як це робиться при обробці 2D зображень.

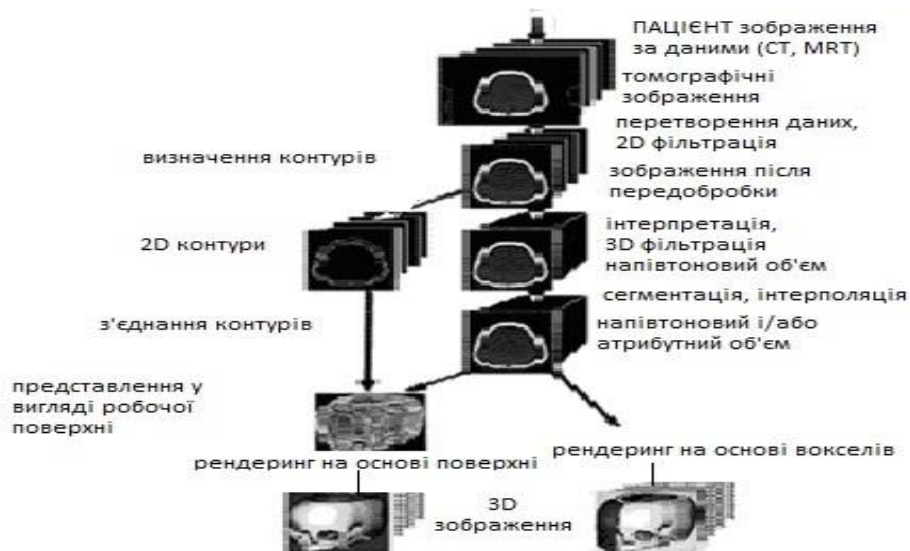


Рис. 9.13. Етапи конвеєра візуалізації обсягу

Наступний крок полягає в ідентифікації різних об'єктів, представлених в об'ємних даних так, щоб їх можна було виділити для візуалізації або, навпаки, зробити невидимими. Цей крок включає сегментацію та інтерпретацію. Найпростіший спосіб полягає в бінаризації даних з використанням порогу інтенсивності, наприклад, для виділення кісток з інших тканин в комп'ютерній томографії. Проте в деяких випадках, особливо при використанні даних МРТ, потрібні більш витончені методи сегментації. Після сегментації існує вибір, який з методів візуалізації використовувати далі. Більш традиційні підходи, які засновані на представленні об'єктів їх поверхнями, спочатку створюють проміжну модель, виділяючи поверхні об'єкту. Далі виконується рендеринг з використанням будь-якого стандартного методу машинної графіки. Відносно недавно були розроблені підходи, засновані на воксельному поданні об'ємів, які створюють тривимірні зображення об'єкта безпосередньо з об'ємних даних. Ці методи використовують повну інформацію про значення інтенсивності півтонування для рендеринга поверхонь, розрізів або прозорих і напівпрозорих об'ємів.

Обидва ці підходи мають свої переваги. Рішення про те, який з методів слід використовувати для конкретного додатка, залежить як від розміру пам'яті і потужності комп'ютера, так і від цілей візуалізації. Нещодавно був розроблений новий підхід до візуалізації об'єму, який використовує методи рендеринга, які засновані на перетвореннях.

Найбільш важливими структурами для опису об'ємних даних є:

- *Бінарна воксельна модель*: вокселі можуть приймати два значення: 1 (об'єкт) або 0 (немає об'єкта). Це дуже проста модель і використовується рідко. Для того, щоб зменшити необхідний для зберігання об'єм пам'яті, бінарні об'єми можуть бути рекурсивно розбиті на менші об'єми, які містять вокселі рівної величини. Результиуюча структура даних називається 8-деревом або октантним деревом.

- *Напівтонова воксельна модель*: кожен воксель містить інформацію про інтенсивність. Для напівтонових обсягів також розроблені структури у вигляді 8-дерева.

- *Узагальнена воксельна модель*: окрім інформації про інтенсивність кожен воксель містить атрибути, що характеризують його належність до різних об'єктів, та/або дані від інших джерел (наприклад, МРТ або ПЕТ).

- *Інтелектуальні обсяги*: як розвиток узагальненої воксельної моделі розглядається модель, в якій властивості об'єктів (такі як колір, імена в різних мовах, показники на додаткову інформацію) та їх взаємозв'язки моделюються на символічному рівні. Подібна структура даних є основою для таких просунутих додатків, як медичні атласи.

Напівтоновий об'єм зазвичай включає велике число різних структур, які затінують один одного. Для того, щоб зобразити одну з них, слід вирішити, яку частину даних необхідно використовувати, а яку ігнорувати.

Першим кроком розпізнавання об'єкта має бути розподіл напівтонового обсягу на різні області, які є однорідними відносно деякого формального критерію і відповідають реальним (анатомічним) об'єктам. Такий процес називається сегментацією. Для представлення результатів підходящою структурою даних є узагальнена воксельна модель. На наступному кроці інтерпретації, області можуть бути ідентифіковані і співвіднесені осмисленим поняттям, таким як «біла речовина» або «шлуночок».

Всі методи сегментації можна розділити на два типи: «бінарні» і «нечіткі», відповідно до того, яка логіка покладена в основу: бінарна або нечітка. При бінарній сегментації відповідь на питання, чи належить воксель певній області, завжди «так» чи «ні». Така інформація є передумовою, наприклад, для створення поверхневого уявлення щодо об'ємних даних. Однак недоліком методу є те, що він не справляється з випадками невизначеності або випадками, коли об'єкт займає тільки частину вокселя. У разі нечіткої сегментації необов'язково приймати точне рішення «так» або «ні» – кожному вокселю приписуються ймовірності того, що він належить тій чи іншій матерії.

Зараз є велика кількість методів сегментації для 3D медичних зображень, які можна розбити на три типи: методи на основі точок, границь і областей. При сегментації на основі точок воксели класифікуються тільки відповідно з величиною їх інтенсивності. При сегментації на основі границь в зображуваному об'ємі визначають неоднорідності в розподілі інтенсивності, використовуючи для цього перші або другі похідні. При сегментації на основі областей розглядаються властивості цілих областей, такі як розмір або форма. Часто використовується комбінація декількох різних підходів.

Хоча, безумовно, кінцевою метою є автоматична сегментація, методи, що існують сьогодні, все ще недостатньо надійні, щоб належним чином працювати в будь-яких ситуаціях. Тому на практиці часто більш корисні зручні інтерактивні системи. На *рис. 9.14* наведено 3D зображення плоду за даними МРТ, отримане методом автоматичної сегментації, що відкоректоване в інтерактивному («ручному») режимі.

Найчастіше медичні інформаційні системи, що використовуються для реконструкції об'ємних зображень, створюються на базі нейронних мереж.



Рис. 9.14. 3D зображення плоду за даними МРТ.

З використанням системи інтерактивної сегментації було визначено близько 30 об'єктів

До явних переваг методів на основі поверхонь можна віднести дуже велике зменшення кількості даних при переході від об'ємного представлення до поверхневого. Час рендерингу також може бути зменшено, якщо при формуванні поверхні використовуються загальноприйняті структури даних, такі як сітки з трикутними комітками, рендеринг яких підтримується програмними і апаратними засобами. З іншого боку, на етапі реконструкції поверхні відкидається велика кількість цінної інформації, що міститься в зображеннях перерізів. Якщо представлення у вигляді поверхні вже сформовано, повернутися назад і отримати вихідні значення інтенсивності неможливо. Розрізи об'єкта в цьому представленні безглузді, оскільки інформації про його внутрішню частину немає. Крім того, кожна зміна критеріїв для визначення поверхні, наприклад, порогів, вимагає перерахунку всієї структури даних.

Реконструкція поверхні з об'єму. Перший метод, який широко використовувався в медичних системах, був розроблений в кінці 70-х років. Напівтоновий об'єм спочатку біналізується з використанням порогу інтенсивності. Потім створюється список граней вокселів, розташованих на границі між вокселями, що належать внутрішній і зовнішній частинам об'єкту. Можна показати, що результуючі поверхні завжди добре визначені і замкнуті. Опис поверхні, сформований за даним алгоритмом, зовсім простий – всі грані мають однаковий розмір і форму і можуть бути орієнтовані тільки шістьма різними способами. Звичайно, такий метод дає тільки грубе наближення до справжньої форми об'єкта. Тому на результуючому 3D зображенні немає багато тонких деталей.

Пізніше були запропоновані методи, які використовують всю півтонову інформацію. В алгоритмі маршируючих кубів, розробленому Лоренсенем і Клайном, розглядається куб об'ємних даних, що складається з 222 суміжних вокселів. Залежно від того, один або більше таких вокселів міститься всередині об'єкта (їх значення вище порогової величини), будується частина поверхні,

що складається з не більше, ніж чотирьох трикутників, і поміщається всередину куба. Точна локалізація трикутників визначається шляхом лінійної інтерполяції інтенсивностей у вершинах вокселів. У результаті виходить поверхня з великою кількістю деталей і розрізненням вище воксельного (рис. 9.15). Орієнтація поверхні обчислюється за градієнтом інтенсивності.

При застосуванні алгоритму маршируючих кубів до клінічних даних створюються сотні тисяч трикутників. Було показано, що кількість цих трикутників може бути значно зменшена шляхом наступного спрощення трикутної сітки без великої втрати інформації.

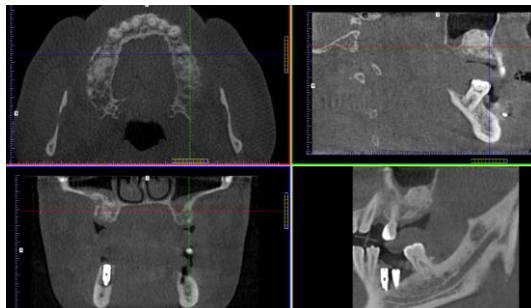


Рис. 9.15. 3D реконструкція томографічних зображень

Зафарбування. У загальному плані зафарбування – це отримання реалістичного зображення об'єкта, виходячи з положення, орієнтації і характеристик його поверхонь і з урахуванням освітлюючих його джерел світла. Відбиваючі властивості поверхні описуються за допомогою моделі освітленості, наприклад, моделі Фонга, яка враховує властивості розсіяного, дифузного і відбитого світла. Найбільш істотними вхідними даними таких моделей є локальна орієнтація поверхні, що задається векторами нормалей.

При рендерингу на основі вокселів (*voxel* – точка в просторі, яка має свій колір і реагує на освітлення його зміною) зображення формується безпосередньо з об'ємних даних. Основна перевага цього методу порівняно з методами на основі поверхонь полягає в тому, що вся початкова інформація про інтенсивності зберігається протягом процесу рендеринга. Це робить даний метод ідеальною технікою для інтерактивного дослідження даних. При цьому інтерактивно можна міняти величини порогів та інші параметри, які спочатку невідомі. Крім того, рендеринг на основі вокселів дозволяє комбінувати зображення різних типів: непрозорі й напівпрозорі поверхні, розрізи і проєкції максимальних інтенсивностей. Недоліком методів на основі вокселів є необхідність обробляти велику кількість даних. Це не дозволяє вирішувати прикладні завдання на сучасних комп'ютерах в реальному часі. Однак із застосуванням спеціальних апаратних засобів вже зараз можна досягти швидкостей кілька кадрів за секунду.

Сканування об'єму. Способи воксельного рендеринга розрізняються головним чином стратегією сканування: піксель за пікселем (впорядкування за зображенням) або воксель за вокселем (впорядкування за об'ємом). При скануванні з впорядкуванням за зображенням об'ємні дані вибираються на променях вздовж напрямку спостереження. Цей метод відомий як *метод відстеження променя*.

Основні положення даного методу ілюструються на рис. 9.16. Уздовж променя легко визначається видимість поверхонь і об'єктів. Промінь може зупинитися, коли на його шляху трапляється непрозора поверхня.



Рис. 9.16. Метод відстеження променя для візуалізації обсягу. У цьому випадку для знаходження поверхні об'єкта використовується поріг інтенсивності

Метод відстеження променя є дуже гнучким і добре зрозумілим прийомом сканування. Порівняно легко поєднувати методи рендеринга для непрозорих, напівпрозорих і прозорих поверхонь. Крім того, сканування по зображенням можна одночасно використовувати для рендеринга як воксельних, так і поверхневих даних. Якість зображення можна змінювати, збільшуючи або зменшуючи крок вибірки даних. Всі представлені ілюстрації отримані з використанням алгоритму відстеження променя.

З іншого боку, застосовність алгоритмів відстеження променя обмежується вимогами великого обсягу пам'яті і високої потужності комп'ютера. Для того, щоб об'єкт можна було розглядати з різних напрямків, необхідно забезпечити довільний доступ до всіх вхідних об'ємних даних. Крім того, для косих променів потрібна інтерполяція інтенсивностей в точках вибірки даних. Для зменшення часу обчислень процедуру рендеринга починають з малої щільності вибірки даних, щоб швидко згенерувати результуючий вид. Якщо користувач не вносить будь-яких змін, то щільність вибірки даних поступово збільшується до максимального розрізнення. Інший прийом використовує те, що велика кількість часу витрачається на трасування порожнього простору далеко від зображуваних об'єктів. Якщо обмежувати промені так, щоб сканувати дані тільки всередині зумовленого обсягу навколо розглянутих об'єктів, то час сканування сильно зменшується.

При скануванні з впорядкуванням за об'ємом вхідні об'ємні дані вибираються вздовж рядків і стовпців 3D масиву і проводиться проектування обраного виду на площину зображення в напрямку спостереження.

Обсяг можна сканувати, починаючи з вокселів, що знаходяться на максимальній відстані від площини зображення, і закінчуючи вокселями з мінімальною відстанню (*back-to-front* – *BTF*), або в зворотному порядку (*front-to-back* – *FTB*). В обох випадках кілька вокселів можуть проектуватися в один і той же піксель. Якщо необхідно зобразити непрозору поверхню, слід визначити, які частини будуть видимими. При використанні техніки *BTF* значення пікселів просто заміщуються новими, так що з'являються тільки видимі поверхні. При техніці *FTB* пікселі, які вже були записані, зберігаються.

Скануючи дані в тому ж порядку, в якому вони і зберігаються, ці методи є досить швидкими навіть для комп'ютерів з невеликою оперативною пам'яттю. Вони особливо підходять для паралельної обробки. Досі більшою гнучкістю при комбінуванні різних способів зображень мали алгоритми відстеження променя. Однак вже розроблені нові методи рендеринга обсягу, що використовують упорядкування за об'ємом.

Зафарбовування поверхонь. Застосовуючи один з описаних методів сканування, можна визначити видиму поверхню об'єкта, використовуючи, наприклад, поріг. Відомий алгоритм зафарбування, який дуже точно обчислює вектори нормалі до поверхні. Через ефект часткового заповнення обсягу інтенсивність вокселів, що лежать на поверхні, визначається внеском різних матеріалів, що знаходяться всередині вокселів.

Інтегральна проєкція і проєкція максимальних інтенсивностей. Інший спосіб зазирнути всередину об'єкта – це проінтегрувати величини інтенсивностей вздовж напрямку променя зору. Якщо при цьому використані всі об'ємні дані, то такий спосіб – крок назад до старої техніки рентгенограм. Однак якщо така проєкція будується лише за обраними даними, то в деяких випадках результат виявляється корисним.

Для маленьких яскравих об'єктів, подібних до судин, зареєстрованих методом магнітно-резонансної ангиографії (*МРА*), більше підходить метод проєкції максимальних інтенсивностей (*рис. 9.17*). При цьому підході уздовж кожного променя за об'ємними даними визначаються значення максимальної інтенсивності, які потім проєктуються на площину зображення. Перевага методу полягає в тому, що при його використанні не потрібні ані сегментація, ані зафарбовування – процедури, які не дуже добре застосовуються для дрібних судин.



Рис. 9.17. 3D зображення судин голови за даними магнітної резонансної ангиографії (МРА)

Однак у такого підходу є і недоліки: оскільки метод максимальних інтенсивностей зовсім не враховує відбиття світла, результуючі зображення не дають реалістичного тривимірного сприйняття об'єктів. Просторове сприйняття можна поліпшити, обертаючи об'єкт, комбінуючи відображення з різних поверхонь чи площин розрізу.

Хоча проєкція максимальних інтенсивностей (ліворуч) виявляє більше деталей об'єкта, просторове сприйняття значно краще при використанні порогової сегментації і зафарбовування на основі градієнта (праворуч).

ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ БІОЛОГІЧНИХ СИГНАЛІВ

У 1903 р. датський лікар Вільям Ейнтховен впровадив електрокардіограму (*ЕКГ*) у клінічну практику, що відзначило початок нової ери в методах медичної діагностики, яка використовує електроніку в охороні здоров'я. Від того часу електроніка, а пізніше комп'ютери, стали невід'ємними складовими частинами систем аналізу біомедичних сигналів, виконуючи різноманітні завдання від збору даних та їх попередньої обробки до виявлення діагностичних ознак та їх інтерпретації. Електронне обладнання та комп'ютери почали використовуватися для дослідження різноманітних біологічних та фізіологічних систем і явищ, таких як: електрична активність серцево-судинної системи, мозку, нейром'язової системи та системи травлення; зміни тиску в серцево-судинній системі; звуки та сигнали вібрацій від серцево-судинної, м'язово-скелетної та дихальної систем; магнітні поля мозку та ін. Це лише деякі приклади застосування електроніки та комп'ютерів у біомедичному дослідженні.

Перший етап у вивченні фізіологічних систем полягає в розробці спеціальних датчиків і обладнання для перетворення досліджуваних явищ на електричний сигнал, який може бути вимірний. Наступний крок – аналіз цих сигналів – не завжди є легким завданням для лікарів або фахівців у галузі біології. Цінна клінічна інформація у сигналах часто прихована за шумами та перешкодами. Крім того, параметри сигналів часто не можуть бути безпосередньо сприйняті людськими органами чуття. Наприклад, багато звуків серця можуть бути недоступні для сприйняття більшістю людей. Поверхневі сигнали електроміографії (*ЕМГ*) можуть бути надто складними для візуального аналізу. Деякі завдання, які потребують постійного моніторингу, наприклад, контроль *ЕКГ* у пацієнтів із серцевими проблемами, можуть бути нудними та виснажливими для спостерігача. Крім того, сигнали можуть відрізнятися від пацієнта до пацієнта, що ускладнює об'єктивний аналіз. Ці фактори підкреслюють необхідність не лише у вдосконаленій техніці, але й у розробці методів об'єктивного аналізу сигналів за допомогою алгоритмів обробки, що реалізовані за допомогою електроніки або комп'ютерів.

До недавнього часу обробка медичних сигналів переважно зосереджувалася на вирішенні завдань, таких як видалення шумів та перешкод від мережі, аналіз частотних характеристик сигналу за допомогою спектрального аналізу, а також моделювання для подання властивостей та параметризації вивчених процесів. Останні тенденції націлені на об'єктивний кількісний аналіз фізіологічних систем і явищ шляхом аналізу сигналів. Розвиток аналізу біомедичних сигналів досяг рівня практичного використання методів обробки сигналів та розпізнавання образів для ефективної та точної неінвазивної діагностики, постійного моніторингу стану важкохворих пацієнтів, реабілітації та сенсорної підтримки інвалідів. Розроблені інженерами методи все ширше застосовуються у практиці лікарів, а техніка заслужено зайняла важливе місце в діагностиці та лікуванні.

Основні зусилля у використанні комп'ютерів для аналізу біомедичних сигналів спрямовані на використання обробки сигналів та методів моделювання для об'єктивного кількісного аналізу. При аналізі сигналів людиною часто виникають обмеження у сприйнятті, міжособистісні відмінності, помилки внаслідок втоми, а також помилки, що виникають через рідкісність певних ознак аномалій, відволікання уваги через навколишнє середовище тощо. Інтерпретація сигналу експертом значною мірою залежить від його досвіду та кваліфікації, тому такий аналіз завжди є суб'єктивним. Комп'ютерний аналіз біомедичних сигналів, якщо він виконується за допомогою логічних методів, може підвищити об'єктивність інтерпретації, яку надає експерт. Це може допомогти підвищити достовірність та точність діагностики, навіть у випадку досвідченого експерта. розв'язання

За методами досліджень системи обробки й класифікації біосигнали поділяють на активні й пасивні. При **пасивних** дослідженнях відсутній зовнішній вплив на біологічний об'єкт і його сигнал має природний характер. При **активних** дослідженнях сигнал $Q(t)$ є подразненням зовнішнього середовища – стимулом. З урахуванням здатності організму людини сприймати різноманітну зовнішню інформацію такий поділ має, у певному сенсі, умовний характер (*рис. 9.18*).

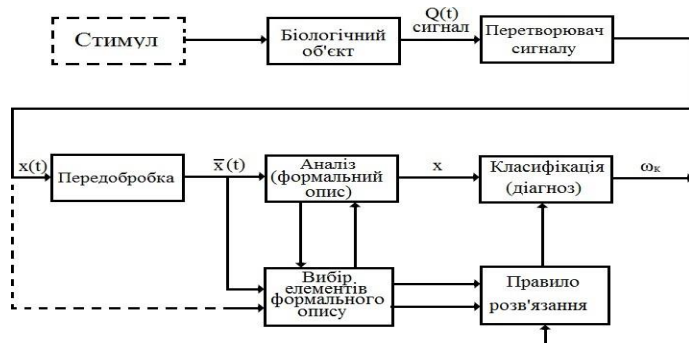


Рис. 9.18. Структурна схема процесу вимірювання і класифікації біологічних сигналів

Розроблення алгоритму для аналізу біомедичного сигналу є складним завданням, яке часто може бути непродуктивним. Інженер або комп'ютерний аналітик часто стикається з проблемами через велику різноманітність та мінливість ознак у біомедичних сигналах, які проявляються частіше, ніж у фізичних системах, що є джерелом цих сигналів. Симптоми доброякісних захворювань часто можуть приховувати ознаки злоякісних, тоді як злоякісні захворювання можуть мати специфічні ознаки, які не завжди є очевидними. Урахування всіх можливостей та варіантів у біомедичних системах є складною задачею для більшості випадків. Методи, які успішно працюють для певних систем або наборів сигналів, можуть бути неефективними в інших, на перший погляд схожих ситуаціях.

Живі організми продукують велику кількість сигналів, які часто приховані серед інших сигналів та шумів. Основна мета обробки цих сигналів полягає в тому, щоб виділити такі, які цікавлять нас, від фону та зменшити надмірну кількість даних до кількох ключових параметрів, які мають інформаційну цінність. Ці параметри повинні мати значення для медичного діагнозу, вирішування медичних питань, розкриття механізмів, що лежать в основі біологічних процесів тощо.

Мета дослідження біосигналів полягає в тому, щоб пов'язати отримані дані (сигнали) з вивченою біосистемою та здобути на їх основі інформацію, яка в кінцевому підсумку стане знанням. Інформація формується на основі отриманих даних шляхом їх інтерпретації. Ця інформація повертається до лікаря від багатьох пацієнтів. За допомогою індуктивних міркувань на основі цієї інформації виникають нові знання, які додаються до загальних медичних знань і використовуються для інтерпретації інших даних.

Етапи аналізу сигналів

Цикл аналізу сигналів (рис. 9.19) може бути пройдений тільки один раз, наприклад, при проведенні флюорографічного дослідження або багато разів, наприклад, при томографічних дослідженнях.

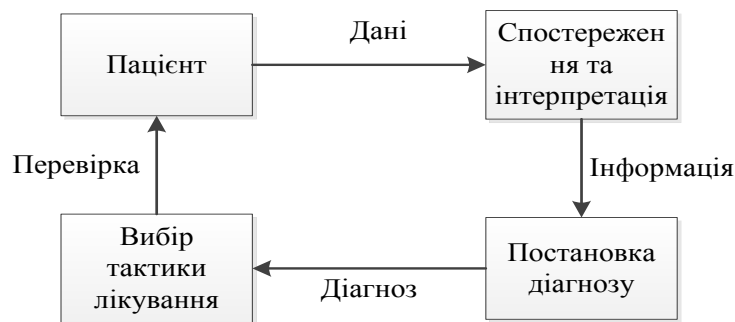


Рис. 9.19. Етапи аналізу сигналів

Обробка біосигналів складається, як мінімум, із чотирьох стадій (рис. 9.20):

- 1) отримання (реєстрація, вимірювання) сигналів;
- 2) перетворення (трансформація) сигналів у цифрову форму;
- 3) виявлення (відбір діагностично істотних) параметрів;
- 4) інтерпретація (класифікація) сигналів.

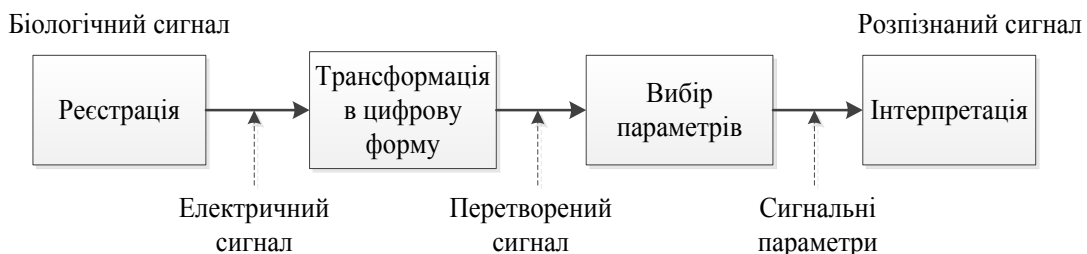


Рис. 9.20. Чотири стадії обробки біосигналів

Перші дві стадії мають справу з видом і структурою сигналу (тобто його синтаксисом), останні дві стадії – зі смисловими (семантичними) сигнальними властивостями. На першій стадії реєстрації сигналів хімічні, механічні або сигнали іншої природи перетворюються на електричні за допомогою датчиків, а сигнали електричної природи знімаються за допомогою електродів. На цій першій стадії дуже важливо підтримувати сигнал для того, щоб його спотворення внаслідок розсіювання було мінімальним. На другій стадії трансформації сигнали з електричної форми перетворюються в цифрову форму для подальшої обробки комп'ютером.

Реєстрація та трансформація сигналів у цифрову форму

При автоматичному вимірюванні біологічного параметра він піддається перетворенням згідно з рис. 9.21.



Рис. 9.21. Послідовність перетворень біологічного параметра при реєстрації і трансформації сигналів в цифрову форму

Функціонування біологічного об'єкта супроводжується генерацією величезної кількості сигналів. З них лише невелика частина може служити цілям діагностики. Відбір таких сигналів здійснюється на третій стадії аналізу, а їх інтерпретація – на четвертій.

Біосигнали, їх особливості

Біосигнали є результатом біологічних процесів. Такі процеси надзвичайно складні і динамічні. Біосигнали звичайно (але не завжди) є функцією часу. Однак описати їх за допомогою аналітичних виразів досить складно. Це пов'язано з тим, що характер біологічних процесів, які є джерелами сигналів, безперервно змінюється. Наприклад, параметри, що описують серцебиття і циркуляцію крові, легені і функцію дихання, формулу крові та гормональну систему відрізняються великою мінливістю і можуть безперервно варіювати. Відповідно і сигнали, отримані від таких процесів, характеризуються динамічним і нестационарним характером.

Типи біосигналів

Сигнали будь-якої природи за ступенем передбачуваності їх значень поділяються на детерміновані та стохастичні (рис. 9.22).

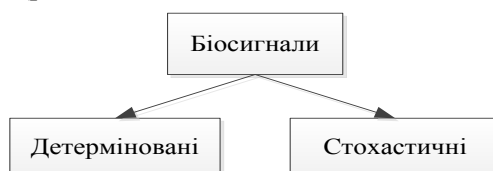


Рис. 9.22. Види біосигналів

Для детермінованих сигналів значення їх параметрів однозначно визначені в часі. У стохастичних сигналів параметри є випадковими величинами, однозначно не визначаються, а можуть лише бути передбачені з певною ймовірністю.

1. *Детерміновані біосигнали.* У загальному випадку детерміновані сигнали бувають періодичні, квазіперіодичні (майже періодичні), неперіодичні, швидкоплинні.

Повторювані біологічні процеси, наприклад, серцебиття або дихання, генерують повторювані сигнали. У живих організмів немає чистих періодичних сигналів. Правильніше за все їх класифікувати як квазіперіодичні й неперіодичні. Прикладом неперіодичних сигналів є сигнал, який може надходити від миготливих очей. Деполяризована клітина, яка була стимульована деяким сигналом, також генерує електричний сигнал (хвиля деполяризації і реполяризації), який називається перехідним сигналом.

Окремою групою детермінованих сигналів є точкові процеси, що можуть описуватися як серія імпульсів. Точкові процеси можуть бути представлені як двійковий сигнал, який більшість часу дорівнює «0», а коли деяка подія відбувається – приймає значення «1» (рис. 9.23). Чисто точкові процеси не генеруються біосистемами, хоча імпульси водія ритму в синусовому (SA) і атріовентрикулярному (AV) вузлах серця могли б вважатися точковими процесами. У точкових процесах становить інтерес не форма сигналу, а мить, де деяка подія відбувається, як, наприклад, початок деполяризації в шлуночках, який пов'язаний з активізацією QRS комплексу в EKG (рис. 9.23, a), або момент мигання ока.

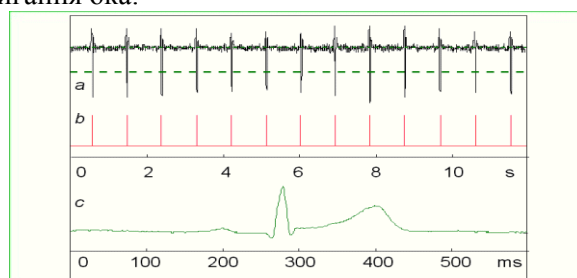


Рис. 9.23. Точковий (b) процес відфільтрований від інших сигналів EKG (a)

2. *Стохастичні сигнали.* Генеруються, наприклад, групами клітин, які деполяризуються випадковим чином (клітини м'язів, нервові клітини в корі головного мозку і т.д.).

Форма хвилі таких сигналів є недетермінованою і може описуватися тільки статистично. Залежно від виду біологічного процесу стохастичні сигнали бувають стаціонарними або нестаціонарними. У разі стаціонарних властивості сигналу не змінюються з часом, наприклад, коли пацієнт перебуває у стабільному стані.

Становить інтерес різниця між стаціонарними і нестаціонарними сигналами. Якщо біологічний процес перебуває в динаміці, ми можемо очікувати, що сигнали, які генеруються, також є нестаціонарними. Прикладом є ЕЕГ хворого під час епілептичного нападу. Параметри, що можуть бути отримані з нестаціонарних сигналів (наприклад, від пацієнтів, які знаходяться в палатах інтенсивної терапії) можуть бути представлені як функція часу, що називається аналізом тенденції.

Аналого-цифрове перетворення

Всі біосигнали є аналоговими сигналами. Таким чином, перед тим, як вони будуть оброблені комп'ютерами, повинні бути перетворені в цифрову форму. Під цифровою формою тут розуміється представлення сигналу в двійковій системі числення, де наявність електричного сигналу відповідає цифрі 1, а відсутність – цифрі 0. Перетворення здійснюється за допомогою аналого-цифрового перетворення (контролер АЦП) (рис. 9.22). І якщо все зроблено коректно, то інформація, що міститься в сигналі, не губиться, і оригінальний аналоговий сигнал можна потім відновити з цифрового шляхом цифро-аналогового перетворення (ЦАП).

Контролер АЦП здійснює перетворення вхідних аналогових сигналів у цифрову форму, прийнятну для введення в комп'ютер, із заданою частотою повторення таких перетворень або частотою дискретизації.

При аналого-цифровій обробці біосигналів необхідно відповісти на два питання:

1. Якою має бути частота вимірювань (частота дискретизації)?
2. Наскільки точно необхідно визначити величину амплітуди періодичного сигналу?

Для правильної обробки важливо, щоб інформація не губилася і не спотворювалася.

Дуже низька частота вимірювань може викликати втрату інформації, а дуже висока є надмірною і не дає додаткової інформації, вимагаючи більшої комп'ютерної пам'яті.

Для деяких біосигналів амплітуда може вимірюватися з похибкою лише до 1 %, для інших допускається похибка 10 %. Наприклад:

– для електрокардіограми амплітуда Q -хвиль повинна вимірюватися з максимально можливою точністю, тому що може свідчити про наявність інфаркту;

– для електроенцефалограми значення амплітуди безпосередньо не становить інтересу, а важливими є зміни середніх значень амплітуди з часом, які можуть виявити патологію.

Якщо сигнали не обробляються з досить високою частотою дискретизації (частотою вимірювань) і якщо амплітуди не можна виміряти досить точно, сигнали будуть спотворені і буде неможливо отримати необхідні параметри.

Частота вимірювань (реєстрації) визначає дискретизацію системного часу. З цією частотою відбувається введення аналогових сигналів з АЦП і обробка керуючих впливів.

Вибір частоти дискретизації визначається верхньою частотою процесів, які необхідно зареєструвати і аналізувати. З радіотехніки відомо (*теорема Котельникова (Найквіста)* і наслідки з неї), що для виділення гармонійної складової в спектрі з верхньою частотою f необхідна частота дискретизації вхідного сигналу не менше $2f$.

Наприклад, прийнято вважати, що для електрокардіограми максимальна частота спектра 100 Гц. Отже, для задовільного представлення безперервного кардіосигналу в дискретному вигляді відліки повинні бути принаймні вдвічі частіше, ніж максимальна частота спектра, тобто у нашому прикладі 200 відліків за секунду (200 Гц).

На підставі сказаного вище можна зробити наступні висновки:

1. Дискретизація аналогових змінних, у тому числі біосигналів, можлива без втрати інформації.
2. Частота дискретизації f_0 визначається частотним спектром сигналу і повинна бути мінімум у два рази більше частоти найбільш високочастотної гармоніки сигналу.
3. Ступінь дискретизації визначається необхідністю визначення параметрів, які повинні бути отримані при обробці сигналу.

Значного поширення саме у медицині набули різні методи утворення біосигналів як первинних носіїв інформації про фізіологічні параметри, які можна зарахувати до однієї з трьох груп (рис. 9.24).



Рис. 9.24. Класифікація основних методів утворення біосигналів

Приклади застосування аналізу біосигналів

Методи обробки та інтерпретації біосигналів весь час еволюціонують, в основному завдяки інформаційним технологіям, які постійно удосконалюються. Обробка біосигналів та їх інтерпретація знайшли широке застосування в медицині. Наведемо кілька прикладів використання методів аналізу біосигналів.

Функціональний аналіз – це аналіз, який проводиться в діагностичних центрах для аналізу електрограм, електроенцефалограм, електрокардіограм, фонокардіограм, спірограм тощо.

Скринінгові дослідження. Скринінгові системи, призначені для проведення долікарського обстеження населення та формування груп ризику, часто базуються на інформації, яку отримують за допомогою біосигналів. При цьому використовуються ті ж прийоми обробки біосигналів, що і при функціональному аналізі.

On-line аналіз – це аналіз, який має місце в ситуаціях, в яких за пацієнтом спостерігають в палатах інтенсивного догляду. Інший приклад *on-line* аналізу – це контроль за протезуванням ще непошкоджених нервів або м'язів.

У деяких випадках діагностичне обладнання під'єднується до пацієнта на досить тривалий проміжок часу (наприклад, моніторингування за Холтером, при якому портативний електрокардіограф підключається на добу). У цьому випадку безперервний потік даних, який надходить від пацієнта, потребує скорочення та документування. Без застосування методів обробки біосигналів і комп'ютера дана процедура неможлива.

Методи обробки сигналів використовуються також у наукових дослідженнях, наприклад, в галузі фізіології – при вивченні процесів деполяризації клітин.

Більш докладно конкретні методи аналізу викладені в лекції «Медичні апаратно-програмні комплекси» цього посібника.

При розгляді біологічних процесів трапляються чотири різних випадки аналізу сигналу.

1. Тільки вихідний сигнал. Найбільш загальною є ситуація, коли ми маємо справу з біологічним процесом, який видає тільки вихідні сигнали (рис. 9.25). Про процес – джерело сигналу відомостей практично немає. Підхід, який використовується при аналізі таких сигналів, переважно емпіричний. Характерний приклад такої ситуації – отримання електрокардіограми, коли пацієнт перебуває в стані спокою.

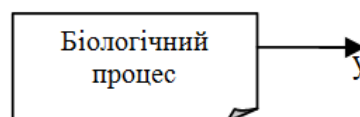


Рис. 9.25. Про джерело сигналу відомостей практично немає

2. *Викликаний сигнал.* Аналізований сигнал y є результатом (відгуком) на зовнішній відомий сигнал x (подразник) (рис. 9.26). Приклади: стимульовані відгуки при дослідженні *ЕЕГ*, відгуки клітин нервових м'язових волокон на механічне або електричне стимулювання.

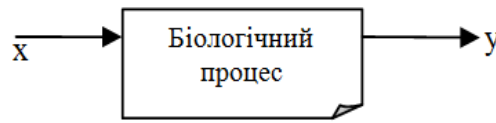


Рис. 9.26. Джерелом сигналу є подразник

3. *Випробування під час стимуляції.* Як і в попередньому випадку, аналізований сигнал y є реакцією на зовнішній подразник z . Відмінністю є те, що в попередньому випадку подразник знімається і реєструється тільки реакція організму, а при випробуванні під час стимуляції дія подразника під час реєстрації не припиняється. Приклад: електрокардіограма під час фізичного навантаження, електроенцефалограма під час анестезії.

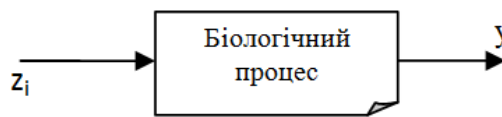


Рис. 9.28. Джерело сигналу є подразником під час проведення дослідження

4. *Моделювання.* У випадках, коли є достатні знання про процес, ми здатні розробити модель біологічного процесу (рис. 7.29), наприклад, модель циркуляції крові або серцевої деполяризації.

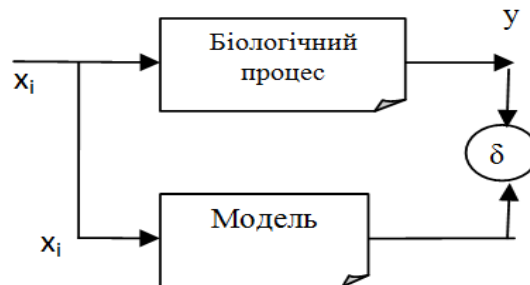


Рис. 9.29. Джерело сигналу впливає на модель

Такі моделі використовуються під час дослідження процесу, навчання нейронних мереж або оцінки параметрів сигналу. Стрілка на рисунку вказує на наявність зворотного зв'язку, символ δ характеризує стадію зіставлення «процес–модель».

Питання, винесені на семінар

1. Поняття інтроскопії. Томографія як метод інтроскопії. Методи томографічної інтроскопії.
2. Методи отримання зображень (радіологічні та нерадіологічні) в медицині. Поняття медичного зображення.
3. Аналогові і матричні (цифрові) зображення. Формування матричних зображень.
4. Основні типи зображень. Способи візуалізації медичних зображень. Перерахувати основні методи отримання двовимірних і тривимірних зображень.
5. Коротка характеристика основних методів отримання двовимірних і тривимірних зображень (рентгенографія, ангиографія, комп'ютерна томографія, МР томографія, ультразвуковий метод, радіонуклідні дослідження).
6. Загальна схема радіологічних методів отримання зображення.
7. Цифрова обробка медичних зображень: цілі та переваги. Реконструкція об'ємного об'єкта.
8. Рендеринг. Елементарні одиниці зображення (піксель, воксель). Етапи конвеєра візуалізації обсягу. Основні моделі комп'ютерного кодування об'ємних даних: бінарна воксельна, напівтонова воксельна, узагальнена воксельна, інтелектуальні об'єми.
9. Основні методи сегментації для 3D медичних зображень. Методи на основі точок, на основі границь, на основі областей.

Питання, винесені на самостійне вивчення

1. Рендеринг поверхонь.
2. Реконструкція поверхні з об'єму.
3. Зафарбовування.
4. Сканування об'єму.
5. Зафарбовування поверхонь.
6. Плоскості розрізів.
7. Інтегральна проєкція і проєкція максимальних інтенсивностей.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Радіологічні методи одержання медичного зображення використовують:
 - A. Механічні хвилі.
 - B. Випромінювання електромагнітної природи.
 - C. Звукові хвилі.
 - D. Інфразвук.
 - E. Електричні імпульси.
 2. Зображення, зняті відеокамерою при ендоскопії, одержують:
 - A. Рентгенологічними методами.
 - B. Радіологічними методами.
 - C. Звуковими методами.
 - D. Електричними методами.
 - E. Нерадіологічними методами.
 3. До аналогових зображень належать ті, які несуть у собі інформацію:
 - A. Безперервного характеру.
 - B. Дискретного характеру.
 - C. У цифровій формі.
 - D. У матричній формі.
 - E. У двійковому коді.
 4. Матричні зображення:
 - A. Не можна одержати за допомогою комп'ютера.
 - B. Мають безперервний характер.
 - C. Мають дискретний характер.
 - D. Одержують на звичайних рентгенограмах.
 - E. Одержують на термограмах.
 5. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) перетворюють:
 - A. Світловий сигнал в електричний.
 - B. Матричні зображення в аналогові.
 - C. Електронний сигнал у механічний.
 - D. Аналогові зображення в матричні.
 - E. Зображення, отримані нерадіологічними методами.
 6. Елементарна одиниця пам'яті дисплейного процесора, що організована у вигляді матриці, кожному елементу якої відповідає своя ділянка дисплея, називається:
 - A. Піксель.
 - B. Біт.
 - C. Рендеринг.
 - D. Тріангуляція.
 - E. Зафарбовування.
- 7. Чим більшою кількістю інформації представлений кожний піксель зображення, тим:
- A. Гірше зображення.
 - B. Краще зображення.
 - C. Менше інформації про досліджуваний об'єкт.
 - D. Менш різке зображення.
 - E. Менш яскраве зображення.

ТЕМА 10

АПАРАТИ ТА СИСТЕМИ ЗАМІЩЕННЯ ВТРАЧЕНИХ ФУНКЦІЙ ЛЮДИНИ

Сучасна медична техніка дозволяє замінити повністю або частково хворі органи людини. Електронний водій ритму серця, підсилювач звуку для людей, які страждають глухотою, кришталік зі спеціальної пластмаси – ось тільки деякі приклади використання техніки в медицині. Все більшого поширення отримують також біопротези, що приводяться в рух мініатюрними блоками живлення, які реагують на біоструми в організмі людини.

Під час складних операцій, що проводяться на серці, легенях або нирках, неоціненну допомогу медикам надають «Апарат штучного кровообігу», «Штучне серце».

Електрокардіостимулятори

Порушення серцевого ритму є одним з найбільш частих і важких ускладнень серцево-судинних захворювань. Постійна електрокардіостимуляція наразі є єдиним надійним методом нормалізації серцевого ритму, яка (у більшості випадків) сприяє поліпшенню гемодинаміки і, тим самим, позитивно впливає на клінічний перебіг і прогноз основного захворювання.

Електрокардіостимуляція (грец. *kardia* – серце і лат. *Stimulatio* – порушувати, спонукати) – метод лікування порушень серцевого ритму за допомогою електричних імпульсів. Порушення ритму і провідності, що призводять до необхідності імплантації електрокардіостимулятора, як правило, обумовлені різними захворюваннями, але можуть мати і самостійне значення. У більшості випадків основними причинами є ішемічна хвороба серця, атеросклеротичний кардіосклероз, ревматична хвороба серця, набуті та вроджені вади серця, артеріальна гіпертензія, міокардити, кардіоміопатії та ін.

Електрокардіостимулятор (водій ритму штучний) – апарат для стимуляції серця генерованими електричними імпульсами (рис. 10.1). Основні складові електрокардіостимулятора такі:

- генератор (імпульсного струму) електричних імпульсів прямокутної форми з тривалістю імпульсів $\tau_n = 0,8 \dots 3,0$ мс і діапазоном частот $\Delta\nu = 1,0 \dots 1,2$ Гц;
- електроди, які володіють достатньою гнучкістю і міцністю, щоб витримувати кручення і згинання, що викликається потоком крові і скороченням серця.

При однокамерній електрокардіостимуляції (ЕКС) використовується один електрод, що розміщується або в правому передсерді, або в правому шлуночку, тому що саме в правому передсерді розташований водій ритму – синусовий вузол (SA). Імпульси потенціалу дії SA породжують відповідну послідовність скорочень серця. Найбільш ефективною і досконалою є двокамерна стимуляція передсердя (A – atrium) і шлуночка (V – ventrium), яка отримала назву «AV – послідовна ЕКС». Двокамерний електрокардіостимулятор передбачає наявність двох електродів – у передсерді і в шлуночку. У процесі стимуляції за скороченням передсердь негайно йде скорочення шлуночків, що робить ритм роботи серця найбільш



Рис. 10.1. Електрокардіостимулятор

близьким до фізіологічного. У 1994 р. вперше була застосована *трикамерна* (атріально-бівентрикулярна) ЕКС у хворих з поєднанням важкої серцевої недостатності та внутрішньошлуночкової блокади.

ЕКС можуть здійснюватися в різних режимах:

1. «Асинхронний» режим. Електрокардіостимулятор генерує імпульси з постійною частотою, не реагуючи на електричну активність передсердь і шлуночків.

2. Режим «demand» («за вимогою»). Електрокардіостимулятор, налаштований на задану частоту стимуляції, починає функціонувати тільки в тому випадку, якщо частота власного ритму передсердь або шлуночків виходить за межі певного інтервалу, тобто при виникненні брадикардії, асистолії або тахікардії. Це забезпечується можливістю сприйняття (індикації) власної електричної активності серця.

Тип електрокардіостимулятора, що імплантується, робить істотний вплив на перебіг основного захворювання, розвиток ускладнень і ефективність лікування.

Для позначення режиму електростимуляції і типів апаратів використовується міжнародна номенклатура трилітерного коду ICHD (розроблений Американської міжвідомчою комісією із захворювань серця Intersociety Commission on Heart Disease). Код має наступну структуру:

• *Перша літера позначає камеру серця*, що стимулюється (A – передсердя, V – шлуночок, D – обидві камери).

• Друга літера вказує на камеру серця, що детектується, встановлено чутливий датчик, що сприймає керуючий сигнал і дає можливість виявити власну електричну активність відповідної камери серця (A – передсердя, V – шлуночок, D – обидві камери, O – немає детекції).

• Третя літера позначає тип відповіді електрокардіостимулятора на реєстровану активність (I – забороняє (пригнічення), T – тригерний (активація) і D – забороняє і активує, O – відсутність здатності до сприйняття сигналів і відповіді на них).

З розвитком більш складних систем електрокардіостимуляції у 1979 р. код ICHD був розширений до п'ятилітерного. У подальшому створенні нових моделей ЕКС викликали перетворення п'ятилітерного коду ICHD в п'ятилітерний код імплантованих систем електричного впливу на ритм серця – кардіостимуляторів, кардіовертерів і дефібриляторів відповідно до рекомендацій Британської групи з вивчення електрокардіостимуляції і електрофізіології (British Pacing and Electrophysiology Group – BREG) і Північно-американського товариства електрокардіостимуляції і електрофізіології (North American Society of Pacing and Electrophysiology – NASPE). Код отримав назву NASPE/BREG (NBG) – за скороченою назвою товариств, які його розробляли. Додаткові літери коду означають наступне:

• Четверта літера позначає програмованість функцій стимулятора і частотну адаптацію та може приймати такі значення: O – стимулятор не володіє функцією програмування; P – програмується два параметри (число серцевих скорочень на хвилину і хвилинний обсяг кровообігу); M (мультипрограмований) дозволяє перепрограмувати режими кардіостимуляції і змінювати параметри стимуляції; C (communicating) – двосторонній зв'язок; R (rate responsive) – частотна адаптація.

Наприклад, якщо в моделі ЕКС передбачена частотна адаптація (символ R), то код режиму роботи може бути записаний у вигляді: VVI (R), DDD (R).

Програмування ЕКС – це дистанційне керування функціями імплантованого ЕКС. Наприклад, програмування рефрактерного періоду – відрізка часу, протягом якого апарат залишається нечутливим до зовнішніх електричних сигналів. Цей період передбачений для того, щоб ЕКС не сприймав викликану його імпульсом деполяризацію міокарда і не блокував би в результаті цього свій черговий стимулюючий імпульс.

• П'ята літера позначає антитахіаритмічну функцію і може приймати такі значення: O – стимулятор не має антитахіаритмічної функції; P (pacing) – можливість антитахіаритмічної функції; S (shock) – здійснюється кардіоверсія (дефібриляція), D – є як протиаритмічна функція, так і кардіоверсія (дефібриляція).

Параметри стимуляції в сучасних апаратах дозволяють контролювати не тільки електрофізіологічні параметри серцевої активності, але також і стан гемодинаміки.

Наприклад, частотно-адаптивні ЕКС дозволяють змінювати частоту стимуляції залежно від метаболічних потреб організму (фізичного навантаження). Все викладене вище можна систематизувати за допомогою табл. 10.1.

Таблиця 10.1

Структури ICHD та NBG кодів електрокардіостимуляції

I	II	III	IV	V
Стимульована (-) камера (-) серця	Детектована (-) камера (-) серця	Варіант відповіді на сигнал детекції	Програмованість	Антитахіаритмічна (-) функція (-)
O – None (ніякий)	O – None (ніякий)	O – None (ніякий)	O – None (ніякий)	O – None (ніякий)
A – Atrium (передсердя)	A – Atrium (передсердя)	T – Triggered (що включається)	P – Simple Programmable (програмований, просте програмування)	P – Pacing (antitachyarrhythmia) (стимуляція антитахіаритмічна)
V – Ventricle (шлуночок)	V – Ventricle (шлуночок)	I – Inhibited (вимкнутий)	M – Multiprogrammable (мультипрограмований)	S – Shock (дефібриляція (кардіоверсія))
D – Dual (A+V) (подвійний)	D – Dual (A+V) (подвійний)	D – Dual (T+I) (подвійний)	C – Communicating (двосторонній зв'язок)	D – Dual (P+S) (подвійний)
S – Single (A or V) (поодинокий)	S – Single (A or V) (поодинокий)		R – Rate modulation (регуляція частоти)	

Режим AAI (P – заперечена стимуляція передсердь) забезпечує стимуляцію передсердь із запрограмованою частотою за відсутності власної передсердної активності. Спонтанне скорочення, що виникає протягом періоду готовності, блокує генерування стимулу від ЕКС і дає початок відліку нового тимчасового циклу.

Режим *VOO* (асинхронна стимуляція шлуночків) – стимуляція шлуночків відбувається із запрограмованою частотою незалежно від спонтанного ритму.

Режим *VVT* (*R* – повторна стимуляція шлуночків) забезпечує стимуляцію шлуночків із запрограмованою частотою за відсутності власного ритму. Якщо під час періоду готовності прийнято власне шлуночкове скорочення, воно викликає одночасний стимул від *EKC*.

Режим *VVI* (*R* – заперечена стимуляція шлуночків) забезпечує стимуляцію шлуночків із запрограмованою частотою за відсутності власного ритму серця. Спонтанне скорочення, що виникає протягом періоду готовності, блокує генерування стимулу від *EKC* і дає початок відліку нового тимчасового циклу.

Режим *DOO* (асинхронна двокамерна стимуляція) – стимуляції обох камер із запрограмованими частотою та *AV* затримкою (передсердя – шлуночок) незалежно від спонтанного ритму.

Режим *DVI* (послідовна *AV* стимуляція) – стимулюються обидві камери, але сприймаються тільки шлуночкові скорочення, так що за відсутності спонтанного шлуночкового ритму обидві камери стимулюються із запрограмованою частотою і *AV* затримкою.

Режим *DDI* (*AV* послідовна стимуляція зі сприйняттям спонтанних передсердних сигналів, але без проведення їх на шлуночки). У даному режимі можлива стимуляція і сприйняття сигналів із обох камер, однак сприйняте передсердне скорочення буде інгібувати (пригнічувати) нанесення стимулу на передсердя, не впливаючи на стимуляцію шлуночків.

Режим *DDD* (стимуляція і сприйняття сигналів із обох камер з проведенням спонтанного передсердного скорочення на шлуночки) – найбільш досконалий з усіх можливих. У режимі *DDD* можливі стимуляція і сприйняття сигналів із обох камер; спонтанне серцеве скорочення (передсердне або шлуночкове) інгібує нанесення стимулу на відповідну камеру, а спонтанний передсердний ритм викликає подальшу стимуляцію шлуночків.

Програмування електрокардіостимулятора. Використання мультипрограмованих стимуляторів стає все більш звичайним явищем. Залежно від моделі, одна або кілька функцій можуть бути тимчасово або постійно змінені шляхом *неінвазивного програмування* – неінвазивної оцінки та зміни параметрів і функції *EKC* з діагностичною і лікувальною метою. Частота стимуляції, амплітуда, тривалість імпульсу, чутливість, технічний рефрактерний період тощо можуть бути змінені за допомогою електромагнітних або радіотелеметричних сигналів з використанням спеціального пристрою – програматера.

Сучасні технології в слухопротезуванні



Рис. 10.2. Слуховий апарат

Згідно зі статистикою, кожна шоста людина у світі має проблеми зі слухом. Сучасний рівень розвитку медицини і техніки дозволяє успішно надавати допомогу в спілкуванні та орієнтації у просторі абсолютній більшості людей з порушеним слухом і навіть з практично повною його відсутністю. Сьогодні слухопротезування є єдино можливим способом повноцінної соціальної реабілітації, а сучасні цифрові слухові апарати (*СА*) являють собою інтелектуальні системи, за допомогою яких людина забуває про те, що вона погано чує (рис. 10.2).

Залежно від місця розташування у вушному просторі слухові пристрої діляться на заушні, внутрішньовушні і внутрішньоканальні.

Заушний слуховий апарат – це один з найперших видів *СА*, які використовувалися в галузі слухового протезування. Місце знаходження подібного апарату – за вухом пацієнта. Слуховий апарат подібного роду складається з двох частин, з'єднаних одна з одною. Перша кріпиться за вушною раковиною, а друга – у вушному каналі. Вони з'єднані за допомогою спеціальної звукопровідної трубочки. Такий слуховий апарат досить міцно зафіксований і дозволяє сприймати великий діапазон звуків, особливо порівняно з внутрішньовушними *СА*.

Внутрішньовушний слуховий апарат на відміну від заушного розміщується на початку слухового проходу вуха і складається всього лише з однієї частини – корпусу, в який вмонтовано електроніку слухового апарату. Корпус виготовляється за індивідуальним зліпком вушного каналу кожного користувача. Цей тип слухового апарату найчастіше є повністю автоматичним, але в деяких моделях можна відрегулювати рівень гучності вручну.

Внутрішньоканальні слухові апарати встановлюють у слуховому проході вуха в безпосередній близькості до барабанної перетинки. Це забезпечується завдяки маленькому розміру пристроїв, що належать до даного виду. Безпосередня близькість до барабанної перетинки забезпечує високий рівень сприйняття звуку, що дозволяє розпізнавати напрямок звуку, а також з легкістю використовувати мобільний телефон та інші пристрої, призначені для впізнавання і прослуховування звуку. Завдяки маленьким розмірам і внутрішньоканальному розташуванню такі апарати практично непомітні, що робить їх одними з найпопулярніших і затребуваних.

Залежно від застосовуваного методу обробки звуку слухові апарати поділяють на *аналогові* і *цифрові*. Зараз безперечною перевагою користуються цифрові моделі слухових апаратів, тоді як аналогові поступово відходять у минуле. У цифрових виробів подібного роду дуже багато переваг порівняно з аналоговими, а саме:

- можливість протезування пацієнтів зі складними захворюваннями, пов'язаними з різними вадами слуху, що досягається завдяки багатоканальності цифрових слухових апаратів;
- можливість програмування апарату під різні акустичні умови;
- високий рівень придушення сторонніх шумів, можливість відділення основних звуків від побічних (вуличного шуму, шуму від працюючого вентилятора або комп'ютера, від характерного апаратного свисту); крім того, у таких апаратів підвищено рівень сприйняття звукових сигналів, навіть якщо людина знаходиться в складних акустичних умовах (у галасливому натовпі, в торговельному центрі, громадському транспорті), що забезпечується розташуванням мікрофонів;
- якісне звучання свого голосу.

У цифрових *СА* звуковий сигнал перетворюється в цифровий формат, як це відбувається при записі на компакт-диск. Спеціальний процесор обробляє цей сигнал зі швидкістю більше 100 мільйонів операцій за секунду, виділяючи корисний сигнал на фоні перешкод. Потім посилений та індивідуально видозмінений звук подається у вухо слабчущого. Цифрові слухові апарати мають не тільки цифрову програмну частину, але і цифровий підсилювач, що дозволяє проводити спеціальну цифрову обробку сигналу. Ця спеціальна обробка, наприклад, може «очищати» мовний сигнал від шумів, робити його комфортної гучності, за наявності декількох мікрофонів робити сприйняття звуку точноспрямованим.

За способом налаштування розрізняють слухові апарати *програмовані* і *непрограмовані* (тримерні). Програмовані слухові апарати налаштовують за допомогою комп'ютера і спеціальної програми, що забезпечує максимально точно налаштування для кожного користувача. Непрограмовані (тримерні) слухові апарати налаштовують вручну за допомогою мініатюрних регуляторів-тримерів.

Кохлеарні імплантати

Крім слухових апаратів сучасне слухо-протезування широко використовує також кохлеарні імплантати (кохлеарне протезування).

Кохлеарний імплантат – це медичний пристрій, що дозволяє частково або повністю відновити слух деяким пацієнтам з вираженою або тяжкою втратою слуху сенсоневральної етіології, якщо уражений рецепторний апарат завитки. При цьому завитка не генерує електричні сигнали при впливі механічних коливань (рис. 10.3).

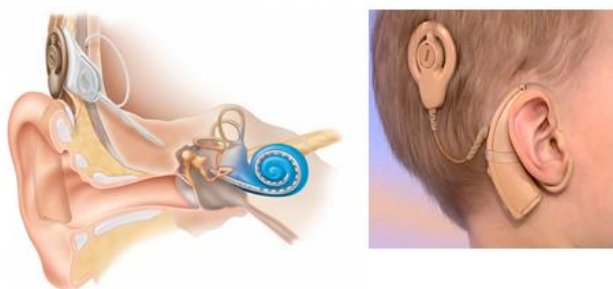


Рис. 10.3. Кохлеарний імплант

Нагадаємо основні положення біофізики слуху людини. У слуховій системі людини виділяють зовнішнє, середнє і внутрішнє вухо. Зовнішнє і середнє вухо відносяться до звукопровідної системи. Звукосприймаючою системою є внутрішнє вухо. Головною частиною внутрішнього вуха є завитка, в якій відбувається перетворення механічних коливань (звуку) в електричний сигнал. Латинська назва завитки – *cochlea* («кохлео»), звідси і термін «кохлеарний апарат». Порожнина завитки розділена двома мембранами – вестибулярною та основною (або базилярною) – на три ходи, або канали: вестибулярний, завитковий та барабанний. Вестибулярний і барабанний канали з'єднані між собою гелікотремою, тобто утворюють єдину систему, і заповнені перилімфою. Завитковий хід, розташований між вестибулярною та основною мембранами, заповнений ендолімфою. Між завитковим і барабанним ходами уздовж завитки проходить основна (базилярна) мембрана, на якій розташовані рецепторні волоскові клітини. Ці клітини разом із покривною пластинкою утворюють кортієв орган. Від завитки йде слуховий нерв. При поширенні звукової хвилі вздовж каналів завитки основна мембрана втягується в коливальний процес. При цьому волоски рецепторних клітин торкаються покривної пластинки, при їх деформації відбувається збудження клітин. Потенціали дії

(електричні імпульси), які генеруються при цьому, передаються потім по слуховому нерву в мозок. Таким чином, у внутрішньому вусі простежується певний функціональний ланцюг: коливання мембрани овального вікна – коливання перилімфи – складні коливання основної мембрани – подразнення рецепторів кортієва органу – генерація електричного сигналу.

Сучасний кохлеарний імплантат – це унікальна медична розробка, що використовується при глухоті чи приглухуватості IV ступеня, служить «заміною» загиблих рецепторів завитки. Імплантат виконує в основному ті ж функції, що і волоскові клітини – перетворює механічні коливання в електричні сигнали. Однак кохлеарний імплантат не посилює звуки. Він передає сигнали на слуховий нерв у тому вигляді, в якому вони є. При цьому передача електричних імпульсів стимулює нервові закінчення, що досить важливо, оскільки при тривалій бездіяльності окремі гілочки слухового нерва «відвикають» від роботи.

Кохлеарний імплантат складається із зовнішньої (переносної) і внутрішньої (імплантованої) частини. У зовнішній частині знаходяться мікрофон і мікропроцесор (звуковий процесор), що слугують для перетворення та аналізу звуку в електричні імпульси, а також радіопередавач. Внутрішня частина являє собою імплантовану в завитку електроди. Звуки уловлюються мікрофоном, кодуються в пакет електричних імпульсів за допомогою звукового процесора і завдяки радіохвилям передаються на імплантовані електроди в завитці. Слуховий нерв сприймає ці слабкі електричні сигнали і передає їх у головний мозок.

Таким чином, кохлеарний імплантат вирішує проблему пошкоджених або загиблих волоскових клітин завитки, передаючи інформацію про звуки навколишнього світу за системою електродів безпосередньо до слухового нерва. При цьому сучасні кохлеарні імплантати прагнуть максимально точно (наскільки це взагалі можливо при існуючих технічних обмеженнях) відтворити природну фізіологічну систему кодування інформації про гучність, тональність та інші характеристики звуку.

Глухота може бути спричинена не тільки пошкодженням рецепторних (волоскових) клітин кортієва органу завитки, але і ураженням VIII пари черепно-мозкових (слухових) нервів. Проблеми таких пацієнтів неможливо вирішити за допомогою кохлеарних імплантатів. Слуховий стовбурово-мозковий імплантат (англ. auditory brainstem implant, *ABI*) – експериментальний медичний прилад, що дозволяє відновити слух деяким пацієнтам з глухотою невральної етіології, є реалізацією ще більш сміливої ідеї – імплантувати електроди імплантату не в завитку, а безпосередньо в головний мозок, точніше в локуси слухових ядер (скупчень нейронів) стовбура мозку.

Зауважимо, що на сьогоднішній день за допомогою 3D-принтерів вже «вирощують» штучне вухо (*рис. 10.4*), яке насамперед виконує естетичну функцію.



Рис. 10.4. Штучне вухо, надруковане на 3D-принтері

Штучна нирка

Нирки людини це біологічно важливий і життєво необхідний парний орган з унікальною структурою. Порушення ниркових функцій протягом тривалого часу загрожує життю людини. Лікування пацієнтів з патологією нирок стало більш успішним не так давно, з 1960 р., коли в розпорядженні лікарів з'явився гемодіаліз, що дозволяє підвищити якість життя хворих з нирковою недостатністю.



Рис. 10.5. Апарат штучної нирки

У 1913 р. американський вчений Джон Абель створив апарат для гемодіалізу, який став прообразом штучної нирки. У 1944 р. голландський учений Вільям Колф вперше успішно застосував на практиці штучну нирку.

Штучна нирка (гемодіалізатор) – це апарат для тимчасового заміщення видільної функції нирок (*рис. 10.5*). Штучну нирку використовують для звільнення крові від продуктів обміну, корекції водно-електролітної і кислотно-лужної рівноваги при гострій і хронічній нирковій недостатності, а також для виведення діалізуючих токсичних речовин при отруєннях та надлишку рідини при набряках.

Діалізатор являє собою штучний фільтр, що складається з 10 000 мікроскопічних волокон (рис. 10.6). Діаметр одного волокна становить приблизно 0,3 мм. Волокна порожнисті, з напівпроникними стінками. Кров пропускається через діалізні волокна (вздовж волокон), а діалізуючий розчин омиває їх зовні, рухаючись у зворотному напрямку. Коли кров проходить по внутрішньому просвіту волокна, токсини певної молекулярної маси виходять через пори його стінки, після чого вони видаляються діалізуючим розчином. При цьому корисні речовини і клітини крові не проходять через мікропори стінок волокон, а рухаються вздовж волокон (рис. 10.7).

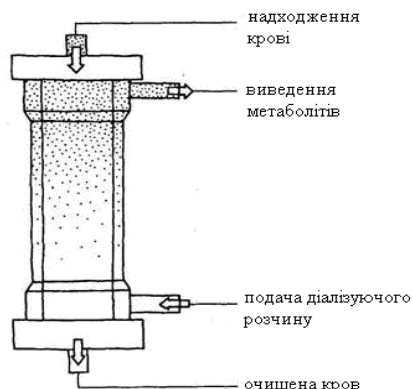


Рис. 10.6. Діалізатор

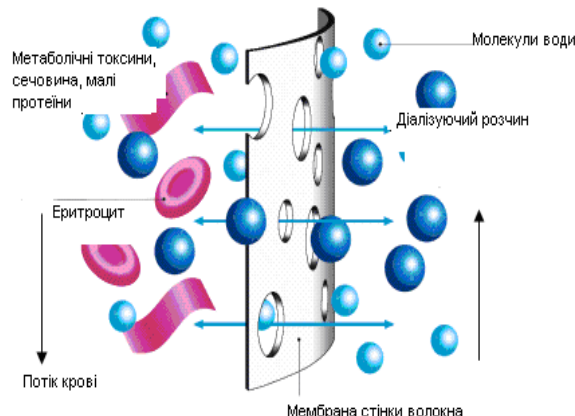


Рис. 10.7. Схема роботи діалізної мембрани стінки волокна

Ультрафільтрація – видалення з організму надлишку рідини внаслідок різниці гідростатичного і осмотичного тисків по обидві сторони напівпроникної мембрани стінки волокна. Необхідний для ультрафільтрації градієнт тиску досягається завдяки зниженню тиску в діалізуючому розчині відносно потоку крові.

Під час лікування кров надходить через спеціальну систему стерильних магістралей у діалізатор (фільтр), де відбувається видалення надлишку рідини і продуктів обміну. Після цього очищена кров повертається в організм через систему магістралей. Поза організмом під час процедури одноразово знаходиться об'єм крові, що дорівнює приблизно 250 мл. У середньому в організмі дорослої людини міститься 4–5 л крові, тому тимчасова відсутність такого невеликого обсягу легко переноситься.

Апарат для гемодіалізу обладнаний всім необхідним для постійного контролю за нормальним ходом лікування. При будь-яких змінах у системі спрацьовує дзвінок, зумер або інший тип звукового сигналу, для того, щоб можна було провести необхідну корекцію.

Апарат «Штучна нирка» (рис. 10.8) складається з діалізатора, перфузійного пристрою для просування крові через апарат, пристрою для приготування та подачі в діалізатор розчину (діалізуюча система), пристрою, що контролює і регулює основні техніко-медичні параметри гемодіалізу, монітору.

Для досягнення високої якості діалізної терапії величезне значення має індивідуальний підбір параметрів процедури та отримання даних про ефективність терапії в режимі реального часу шляхом використання сучасних комп'ютерних технологій.

Показники ефективності роботи діалізаторів такі:

- Кліренс – характеризує очисну здатність діалізаторів при постійному оновленні діалізуючого розчину, $[C] = \text{мл/хв}$:

$$C = a \cdot (A - R)/A,$$

де A – концентрація речовини, що видаляється на вході в діалізатор; R – концентрація речовини, що видаляється на виході з діалізаторів; a – об'ємна швидкість перфузії;

- Діалізанс – характеризує роботу діалізаторів з очищення крові при рециркуляції діалізуючого розчину, якщо в процесі діалізу наростає концентрація речовини, що видаляється в діалізуючому розчині, $[D] = [a] = \text{мл/хв}$:

$$D = a \cdot (A - R)/(A - U),$$

де U – концентрація речовини, що видаляється в діалізуючому розчині.

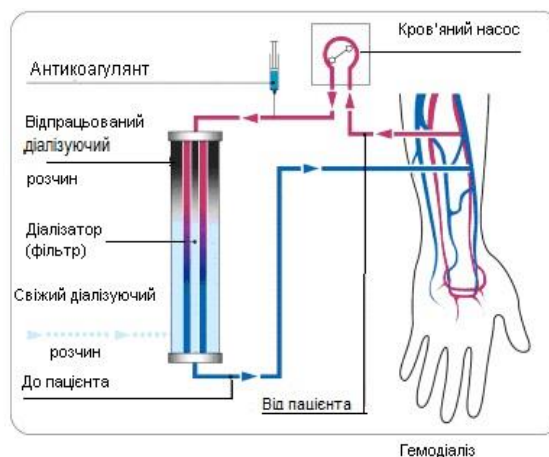


Рис. 10.8. Основні елементи апарату «Штучна нирка»

Підвищенню ефективності роботи апарата «Штучна нирка» сприяє інформаційна підтримка процесу гемодіалізу шляхом використання комп'ютерних технологій, в завдання яких входить:

- створення єдиної інформаційної мережі між усім обладнанням, що використовується в процесі діалізу;
- підвищення ефективності та поліпшення організації роботи сучасного діалізного центру завдяки автоматизації рутинних процесів, зокрема, введення системи електронного документообігу;
- забезпечення легкого, швидкого і безпомилкового доступу до всіх необхідних даних для їх подальшої обробки;
- можливість подання даних в зручному вигляді, що дозволяє в стислі терміни оцінити ситуацію і прийняти відповідне рішення;
- підвищення контролю якості лікування;
- максимальні можливості налаштувань відповідно до вимог кожного діалізного центру.

Крім того, автоматизований моніторинг і контроль необхідних параметрів дозволяють оператору контролювати протягом процедури лікування і стан пацієнта безпосередньо під час процедури.

Так, наприклад, безперервний контроль (моніторинг) температури крові завдяки своєчасному контролю допомагає підвищити гемодинамічну стабільність і знизити частоту серцево-судинних ускладнень. Наявність моніторингу в ході процедури гемодіалізу дозволяє забезпечувати стабільність температури тіла і здійснювати контроль температурно-енергетичного балансу.

Моніторинг об'єму крові поряд з моніторингом температури крові допомагають уникнути порочного кола розвитку інтрадіалізної гіпотензії та об'ємного перенавантаження, а також дозволяє регулювати швидкість ультрафільтрації залежно від змін об'єму циркулюючої крові і відстежувати в ході процедури зміну обсягу циркулюючої крові, рівень гематокриту і рівень гемоглобіну.

Сучасні технічні розробки надають змогу людям з нирковою недостатністю вести абсолютно повноцінне життя і не витратити час для проведення гемодіалізу в лікарнях (рис. 10.9).



Рис. 10.9. Портативна штучна нирка

Штучний кровообіг і штучне серце

Винахід апарата штучного кровообігу (*АШК*) відкрило нову еру в сучасній медицині. Саме за допомогою *АШК* стало можливим проводити операції на відкритому серці та інших життєво важливих органах. Цей апарат призначений для тимчасового виконання функцій серця і легенів, тому його іноді називають апаратом «штучне серце – легені». *АШК* забезпечує кровообіг і дихання в організмі хворого. Він включає в себе два основних блоки: штучне серце, яке складається з насоса і приводу, та штучні легені (оксигенатор), які слугують для насичення крові киснем і видалення з неї вуглекислого газу. Насос *АШК* підтримує у великому колі кровообігу постійний кровообіг, замінюючи серце. Водночас оксигенатор *АШК* насичує пропущену через нього всю кров киснем, замінюючи легені.

Штучний кровообіг (*ШК*) (екстракорпоральний кровообіг) – поки єдиний спосіб домогтися порожнього і знекровленого серця, у той же час підтримуючи кровообіг у всьому іншому тілі людини. Застосовується при операціях на відкритому серці і кровоносних судинах, для проведення яких необхідно виключення серця з кровообігу. В умовах *ШК* проводять корекцію вроджених і набутих вад серця, здійснюють хірургічне лікування уражень судин серця, складних порушень серцевого ритму, видалення пухлин серця, а також його трансплантацію. Останніми роками *ШК* стали використовувати в реанімації, інтенсивній терапії, в до- і післяопераційний період як засіб корекції життєво важливих функцій у хворих. У цих випадках насос *АШК* працює паралельно з серцем хворого, тому він повинен створювати не постійний, а пульсуючий кровообіг в одному ритмі з ним.

Штучний кровообіг характеризується трьома основними функціями: оксигенація крові, газообмін у тканинах і підтримка кровообігу в тканинах. Крім того, важливою функцією штучного кровообігу є підтримання температури тіла пацієнта.

Апарат штучного кровообігу складається з оксигенатора (штучна легеня), теплообмінника, що підтримує необхідний температурний режим *ШК*, артеріального насоса з регульованою продуктивністю (штучне серце), магістралей для струму крові, одного або декількох мікрофільтрів для уловлювання з крові під час *ШК* бульбашок газу, агрегатів формених елементів та інших мікроемболів, систем для відсмоктування крові з операційної рани (коронарний відсмоктувач) і дренажування лівого шлуночка серця, вимірювальних пристроїв для визначення продуктивності насосів, температури крові в артеріальній і венозній магістралях, перфузійного тиску, витрати газів, рівня крові в оксигенатори та ін.

Венозна кров (з низьким вмістом кисню і високим вмістом вуглекислого газу) надходить від пацієнта за рахунок сили гравітації через канюлі в порожнистих венах (правому передсерді тощо) по венозній магістралі у венозний резервуар. Основний насос апарата штучного кровообігу викачує цю кров з венозного резервуару і нагнітає її в оксигенатор, звідки вона потрапляє в артеріальний фільтр і через артеріальну лінію і відповідну артеріальну канюлю вертається в кровоносне русло пацієнта. Схема підключення апарату ШК наведена на *рис. 10.10*.

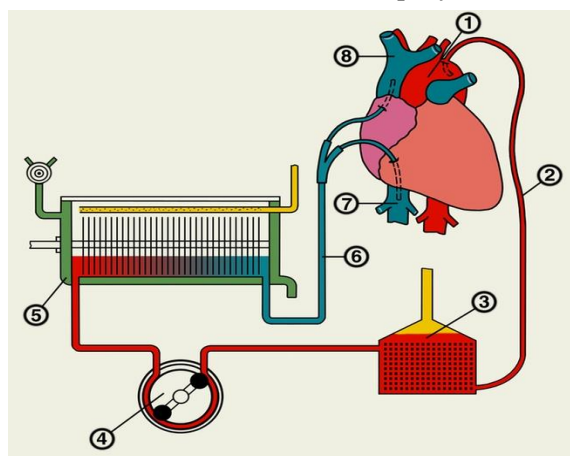


Рис. 10.10. Схема підключення апарата штучного кровообігу:

- 1 – аорта; 2 – артеріальна лінія; 3 – мікрофільтр;
- 4 – артеріальний насос; 5 – оксигенатор;
- 6 – венозна лінія; 7 – нижня порожниста вена;
- 8 – верхня порожниста вена

В іншу камеру подається від керуючого пристрою – пневматичного генератора – пульсуючий потік стисненого і розрідженого повітря. Якщо тиск повітря підвищується, він вигинає діафрагму і виштовхує кров в артерію. Це відповідає скороченню м'яза живого серця – систолі. Якщо тиск повітря знижується в цій камері нижче атмосферного, то діафрагма повертається назад, і в шлуночок надходить кров з вени. Цей стан відповідає розслабленню м'яза живого серця – діастолі. Клапани пропускають кров тільки в одному напрямку. Один з них впускає кров в шлуночок з вени, а інший випускає кров з шлуночка в артерію.

Штучне серце зв'язане з артеріями і венами хворого, а також з пневматичним генератором, що знаходиться поза організмом хворого (*рис. 10.11*). Всі розроблені моделі штучного серця мають пневматичний привід від зовнішнього джерела. Цей привід замінює м'яз живого серця. Так само, як і в живому серці, лівий шлуночок штучного серця прокачує кров по великому колу кровообігу, а правий – по малому колу. У складних моделях з кожним шлуночком пов'язано ще і передсердя – як і в живому серці.

Американська кардіологія і медична індустрія є світовими лідерами у створенні електронно-механічних протезів серця, які допомагають жертвам найважчих форм серцевої недостатності дочекатися донорського серця або просто подовжують їм життя, якщо така пересадка не має шансів на успіх. Всі ці пристрої імплантуються в грудну клітку хворого і беруть участь у перекачуванні крові.

Подібні кардіопротези поділяються на два типи. Одні прилади приєднуються до працюючого серця і полегшують перекачування крові по великому колу кровообігу – їх називають помічниками лівого шлуночка (left ventricular assist devices, *LVADs*). Зараз популярні кілька моделей *LVADs*, причому є хворі, які прожили з одним таким протезом понад шість років.

Протези другого типу імплантуються на місце видаленого серця і повністю беруть на себе його функції. Подібні пристрої, які перекачують кров і по великому, і по малому колам, прийнято називати тотальними штучними серцями (Total Artificial Heart, *TAH*). Вони являють собою ротаційний електричний насос розміром з палець, який імплантується безпосередньо в лівий шлуночок. Насос з'єднаний імплантованими проводами з електричним акумулятором і електронним керуючим пристроєм, який пацієнт носить на поясі. У деяких моделях батарея імплантується в черевну порожнину пацієнта і заряджається від зовнішнього джерела.



Рис. 10.11. Штучне серце

Штучна підшлункова залоза

З 1921 р. основним засобом лікування цукрового діабету 1-го типу був і залишається метод замісної інсулінотерапії, запропонований Ф. Бантіном, лауреатом Нобелівської премії, і Ч. Бестом. Від початку 80-х років XX ст. ведуться пошуки нових способів лікування:

- створення штучної ендокринної підшлункової залози;
- пересадка донорської підшлункової залози;
- пересадка культур інсулінпродукуючих бета-клітин, виділених особливим способом з підшлункової залози донора.



Рис. 10.12. Штучна ендокринна підшлункова залоза («штучна бета-клітина»)

До складу апарату входить датчик рівня глюкози, *ЕОМ* та системи насосів, з'єднаних між собою так, що разом із пацієнтом вони утворюють замкнутий контур (рис. 10.13). За допомогою постійного двопросвітного катетера венозна кров подається в аналізатор, пристосований для безперервного визначення рівня глюкози в крові

Електричні сигнали, що генеруються аналізатором глюкози, вводяться в *ЕОМ* і обробляються відповідно до алгоритму із заданими параметрами. У свою чергу *ЕОМ* формує команду для насоса, який нагнітає інсулін у кількості, що змінюється відповідно до рівня глюкози в крові і швидкості його зміни. Подібним же чином інший насос може забезпечувати подачу глюкози як нейтралізуючого агента при появі тенденції до гіпоглікемії. Введення цих речовин в організм здійснюється за допомогою другого постійного венозного катетера. При належному виборі параметрів алгоритмів для *ЕОМ*, установка такого типу здатна регулювати рівень глюкози в крові у хворих на цукровий діабет і підтримувати нормальний рівень глікемії навіть за наявності зовнішніх навантажень.

Успіхи мікроелектроніки і кібернетики дозволили створити мініатюрні переносні інсулінові дозатори. Ці моделі відрізняються від стаціонарних простішим устроєм і відсутністю реєструючої системи зворотного зв'язку і насоса для інфузії глюкози. Дозатор подає інсулін в тіло через тонку трубку і голку, які зазвичай вставляють під шкіру в ділянці черевної порожнини. Дозатор інсуліну можна запрограмувати таким чином, що інсулін буде подаватися маленькими, частими (базовими) дозами в певний заздалегідь запланований час протягом дня. Через те, що в дозаторі міститься мало інсуліну, їх треба періодично дозаправляти. Дозатори інсуліну дозволяють варіювати час прийому їжі. Завдяки їх використанню знижується кількість випадків зниження рівня цукру в крові (гіпоглікемічні епізоди).

Протези кінцівок

Протезування є важливим етапом у процесі соціально-трудової реабілітації людини, що втратила кінцівки або страждає на захворювання опорно-рухового апарату. Різноманіття видів і рівнів ампутацій верхніх і нижніх кінцівок, а також наслідків захворювань опорно-рухового апарату визначають вельми обширну номенклатуру протезно-ортопедичних виробів. Сьогодні практично всі рівні ампутацій кінцівок і види уражень забезпечені засобами протезування. Розроблено і випускаються серійно вузли максимальної готовності, окремі напівфабрикати та уніфіковані вузли, з яких збирають вироби на протезно-ортопедичних підприємствах.

Якість протезування залежить не тільки від ступеня досконалості окремих вузлів, але і від того, як вони зібрані в протезі. На практиці протезування широко використовує схеми побудови протезів, що являють собою сукупності базових параметрів, які визначають взаємне розташування вузлів

З кінця 70-х років за кордоном в клінічній діабетології набула поширення інсулінотерапія за допомогою портативних інфузійних дозаторів інсуліну і стаціонарних апаратів, які називаються «штучною підшлунковою залозою» або «штучною бета-клітиною» (рис. 10.12).

Апарат «штучна бета-клітина» відноситься до апаратів зі замкнутим контуром, який сам визначає рівень цукру в крові і регулює подачу інсуліну залежно від цього рівня і, можливо, від кількості спожитих вуглеводів. .

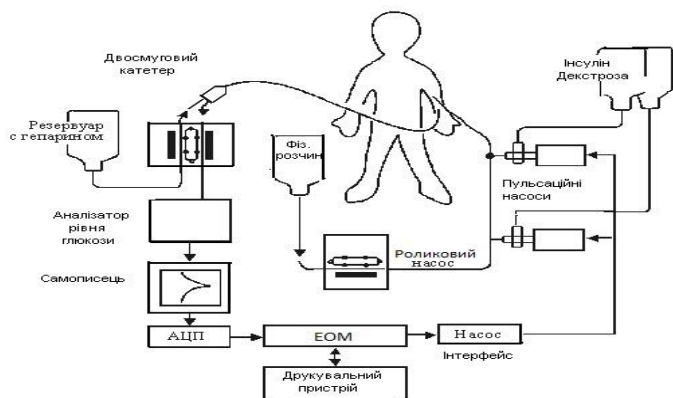


Рис. 10.13. Схема роботи «штучної бета-клітини»

і всього протеза щодо опорно-рухового апарату протезованого. При протезуванні враховуються індивідуальні характеристики людини: маса, зріст, рівень ампутації, статеві особливості.

Розробка протезно-ортопедичних засобів, призначених для компенсації втрачених або порушених опорно-рухових функцій, ґрунтується на глибокому розумінні особливостей рухового апарату людини та основних закономірностей виконання людиною різноманітних дій, пов'язаних з рухами сегментів тіла.

Залежно від призначення, способу застосування, характеру і рівня ампутації, статевікових і конструктивних ознак, умов користування тощо протезно-ортопедичні вироби (ПОВ) поділяються на різні класи та групи. Розглянемо класифікацію протезів верхніх та нижніх кінцівок.

Протези верхніх кінцівок за способом застосування підрозділяються на активні, функціонально-косметичні (пасивні), робочі та на пристосування для самообслуговування (рис. 10.14). Залежно від рівня ампутації протези верхніх кінцівок поділяються на протези кисті, передпліччя, плеча і після виокремлення плеча. За віковими ознаками розрізняють протези для дітей і дорослих.

Активні протези є функціональними, тому виконують одну або кілька функцій здорової верхньої кінцівки і, перш за все, основну функцію руки людини – ухоплювач. Активні протези верхніх кінцівок можуть бути з м'язовим (тяговим) управлінням та із зовнішнім джерелом енергії (ЗДЕ).

Протези нижніх кінцівок. Залежно від рівня ампутації діляться на протези стопи, гомілки, стегна, після виокремлення стегна і при вродженому недорозвиненні нижніх кінцівок (рис. 10.15). За віковими ознаками розрізняють протези для дітей, підлітків і для дорослих. За умовами використання є протези загального призначення, для купання, робочі і спеціальні протези.

У протезах з м'язовим управлінням (тягових протезах) для приведення в дію приводів виконавчих механізмів використовується сила груп м'язів і переміщення збережених сегментів тіла людини-інваліда. У протезах із ЗДЕ можуть використовуватися електромеханічний або пневмомеханічний типи приводу.

У протезах з електромеханічним типом приводу використовується електричний двигун з живленням від акумулятора. При цьому залежно від типу застосовуваного датчика розрізняють такі протези:

– міотонічні, в яких керуючий сигнал формується елементом управління під дією м'язового поштовху (механічного впливу м'яза при збільшенні його поперечного перерізу в момент скорочення);

– біоелектричні, в яких сигнал управління (біопотенціали) знімаються електродами відведення з поверхні керуючого м'яза в момент його скорочення; електроди відведення конструктивно суміщені зі спеціальними підсилювачами біопотенціалів;

– з контактними датчиками, в яких вплив на елемент керування (перемикач) здійснюється будь-яким сегментом тіла інваліда;

– з комбінованим керуванням, в яких управління різними функціями здійснюється сигналами від різних за типом датчиків або комбінацій двох і більше названих способів управління.

На відміну від протезів з електромеханічним типом приводу в пневмомеханічних протезах для приведення в рух окремих приводних механізмів використовується енергія стисненого газу.

Крім двох перерахованих вище груп існують також комбіновані протези-пристрої, в яких для приведення в рух приводних механізмів використовуються різні комбінації джерел енергії та систем управління.

Протези, які називаються робочими, призначені для виконання різних робіт, як у виробничих, так і в домашніх умовах за допомогою насадок і пристосувань. Насадки можуть бути: активні і пасивні; спеціальні та універсальні; призначені для виконання конкретної операції або утримання різних предметів або інструментів.

Пристосування, спеціальні пристрої, що допомагають інвалідам обслуговувати себе власними силами, можуть бути стаціонарними і переносними, що мають різне призначення: самообслуговування, користування предметами побуту, для навчання, занять спортом дозвілля та ін.



Рис. 10.14. Протез верхньої кінцівки



Рис. 10.15. Протези нижніх кінцівок

Сучасний технічний розвиток не зупиняється. На сьогоднішній день існує безліч інших сучасних апаратів та систем, які можуть виконувати функції, притаманні біологічним органам і системам. Вже використовуються штучні шкіра, трахея, ніс, сітківка ока, матка тощо.

Питання, винесені на семінар

1. Електрокардіостимуляція.
2. Сучасні технології в слухопротезуванні. Класифікація слухових апаратів.
3. Штучна нирка.
4. Штучна підшлункова залоза.
5. Протези кінцівок.
6. Біоетика та біобезпека.

Тестові завдання для самоконтролю

1. Перша літера трилітерного коду режимів електрокардіостимуляторів (ЕКС) означає:
 - A. Камеру, що стимулюється.
 - B. Камеру, що детектується.
 - C. Тип відповіді ЕКС на реєстровану активність.
 - D. Програмованість функцій стимулятора і частотну адаптацію.
 - E. Антитахіаритмічну і антиаритмічну активність.
2. Якому виду слухових апаратів (СА) відповідає наведений опис: «Встановлюють в безпосередній близькості до барабанної перетинки. Дозволяє розпізнавати напрямок звуку, також використовувати мобільний телефон та інші пристрої для впізнання і прослуховування звуку»?
 - A. Внутрішньовушні СА.
 - B. Внутрішньоканальні СА.
 - C. Кохлеарні імпланти.
 - D. Програмовані СА.
 - E. Тримерні СА
3. Який з пунктів, що описують процес діалізу, містить неточності або помилки?
 - A. Кров хворого пропускається уздовж діалізних волокон, діалізуючий розчин омиває волокна зовні, рухаючись у зворотному напрямку.
 - B. Токсини певної молекулярної маси виходять через пори діалізних волокон і видаляються діалізуючим розчином. Корисні речовини і клітини крові не проходять через мікропори волокон.
 - C. Очищена кров повертається в організм через систему магістралей.
 - D. Комп'ютерна підтримка гемодіалізу здійснюється на етапі повернення в організм очищеної крові.
 - E. Відповідних варіантів відповідей немає. Все наведене вище правильно описує процес гемодіалізу.
4. Що з наведеного нижче не відноситься до характеристик кардіопротезів 1-го типу?
 - A. Виконують функції помічників лівого шлуночка.
 - B. Допмагають жертвам найтяжких форм серцевої недостатності дочекатися донорського серця.
 - C. З'єднується з артеріями і венами хворого.
 - D. З'єднується з пневматичним генератором, що знаходяться поза організмом хворого.
 - E. Забезпечує перекачування крові по великому і малому колу кровообігу.
5. Вибрати твердження, яке не можна застосувати до апарату «штучна бета-клітина».
 - A. До складу апарату входить комп'ютерна підсистема
 - B. Імплантується на місце видаленої підшлункової залози
 - C. Існує у двох варіантах: напівавтономний і повністю автономний
 - D. Містить два насоси: перший – нагнітає інсулін в кількості, що змінюється відповідно до рівня глюкози в крові і швидкості його зміни; другий – забезпечує подачу глюкози як нейтралізуючий агент при появі тенденції до гіпоглікемії.
 - E. Відповідних варіантів відповіді немає. Все перелічене відноситься до даного типу апаратів.
6. Біоелектричними протезами з електромеханічним типом приводу називають протези, в яких:
 - A. Керуючий сигнал формується елементом управління під впливом м'язового поштовху.
 - B. Сигнал управління знімається електродами відведення з поверхні керуючого м'яза в момент його скорочення.
 - C. Вплив на елемент управління здійснюється будь-яким сегментом тіла інваліда.
 - D. Для приведення в рух окремих приводних механізмів використовується енергія стисненого газу.
 - E. Для приведення в рух приводних механізмів використовуються різні поєднання джерел енергії та систем управління.
7. Електромеханічними протезами з контактними датчиками називають протези, в яких:
 - A. Керуючий сигнал формується елементом управління під впливом м'язового поштовху.
 - B. Сигнал управління знімається електродами відведення з поверхні керуючого м'яза в момент його скорочення.
 - C. Вплив на елемент управління здійснюється будь-яким сегментом тіла інваліда.
 - D. Для приведення в рух окремих приводних механізмів використовується енергія стисненого газу.
 - E. Для приведення в рух приводних механізмів використовуються різні поєднання джерел енергії та систем управління.

Лабораторна робота 1

ВИВЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИПАДКОВИМИ ВЕЛИЧИНАМИ

Мета: засвоїти основи кореляційного та регресійного аналізу; набути навички оброблення даних відповідно до методів кореляційного та регресійного аналізів.

Завдання.

I. Дослідити зв'язок між гемоглобіном (X) і гематокритом (Y) у пацієнтів (*табл. 1.1л*).

II. Дослідити залежність коефіцієнта екстинкції кришталіка ока (Y , см^{-1}) від довжини хвилі світла (X , мкм) у видимій ділянці спектра (*табл. 1.2л*).

1. Визначити значення виборного коефіцієнта кореляції між величинами Y і X , значення яких наведено в *табл. 1.1л* і *1.2л*.

2. Розрахувати значення коефіцієнтів регресії Y на X та X на Y .

3. Для обох вибірок (значення в *табл. 1.1л* і *1.2л*) побудувати кореляційні поля.

Таблиця 1.1л

X	8,2	8,4	9,8	10,0	10,6	10,8	11,4	11,8	11,8	12,0
Y	26	26	32	32	30	34	42	36	37	39

Таблиця 1.2л

X	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62
Y	0,90	0,86	0,66	0,56	0,47	0,43	0,39	0,35	0,27	0,25

Прибори: калькулятор.

Порядок виконання роботи.

1. При визначенні вибірових коефіцієнтів кореляції за значенням *табл. 1.1л* і *1.2л* зробити відповідні розрахунки і заповнити *табл. 1.3л*.

Таблиця 1.3л

Вибірка	Сума				
	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
1					
2					

2. Використовуючи результати розрахунків (*табл. 1.3л*) і формули зробити наступні відповідні розрахунки і занести їх в *табл. 1.4л*.

Таблиця 1.4л

Вибірка	x	y	$S(X)$	$S(Y)$	R	a	b	a_1	b_1
1									
2									

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - n \cdot \bar{x} \cdot \bar{y}}{(n-1) \cdot S(X) \cdot S(Y)}$$

$$y = ax + b$$

$$x = a_1 y + b_1$$

$$a = R \frac{S(Y)}{S(X)}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$a_1 = R \frac{S(X)}{S(Y)}$$

$$b_1 = \bar{x} - a_1 \bar{y}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$S(X) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$S(Y) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

3. Для вибірок, указаних в *табл. 1.1л* і *1.2л* побудувати кореляційні поля (окремо для кожної вибірки).

4. Побудувати лінії регресії для кожної вибірки (на відповідних кореляційних полях).

5. Зробити висновок про характер залежностей між випадковими величинами.

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ТЯЖКОСТІ ЗАХВОРЮВАННЯ

Мета: засвоїти основи дискримінантного аналізу; набути навички оброблення даних за наявною математичною моделлю.

Завдання.

Визначення ступеня тяжкості когнітивних порушень у пацієнта з дисциркуляторною енцефалопатією (ДЕП):

1. Визначити дискримінантні функції кожного пацієнта за показниками *табл. 2.1л.*
2. Визначити ступінь тяжкості когнітивних порушень у кожного пацієнта з ДЕП за територіальною картою (*рис. 2.1л.*).
3. Занести отримані результати в *табл. 2.2л.*

Таблиця 2.1л

Показник		Пацієнти				
		1	2	3	4	5
Стадія ДЕП	a_1	2	2	0	3	3
Депресія	a_2	2	4	1	2	6
Тривожність	a_3	3	4	1	3	4
Фізичне функціонування	a_4	13	29	36	5	26
Ймовірність емоційних порушень	a_5	0,35	0,98	0,12	0,35	0,78
Загальнопсихічний стан	a_6	19	22	12	23	19
Артеріальний тиск	a_7	1	2	1	2	1
ШОЕ	a_8	1	1	2	1	1
Кількість еритроцитів	a_9	1	1	1	2	1
Пртромбіновий індекс	a_{10}	2	1	1	2	2

Прибори: калькулятор.

Порядок виконання роботи.

1. Для розрахунку дискримінантних функцій необхідно показники з *табл. 2.1л* підставити в математичну модель:

$$DF_1(X) = (4,609 + 1,417 \cdot a_1 + 0,244 \cdot a_2 - 1,310 \cdot a_3 - 2,039 \cdot a_4 + 1,072 \cdot a_5 + 1,650 \cdot a_6 + 1,667 \cdot a_7 - 2,324 \cdot a_8 - 0,918 \cdot a_9 + 1,443 \cdot a_{10}) / n,$$

$$DF_2(X) = (-23,565 + 0,095 \cdot a_1 + 0,283 \cdot a_2 + 0,566 \cdot a_3 + 1,766 \cdot a_4 - 0,532 \cdot a_5 + 0,290 \cdot a_6 - 0,061 \cdot a_7 + 1,254 \cdot a_8 - 0,136 \cdot a_9 - 0,753 \cdot a_{10}) / n.$$

2. Використовуючи отримані за допомогою математичної моделі дискримінантні функції визначити ступінь тяжкості когнітивних порушень у пацієнтів з ДЕП, використовуючи територіальну карту (*рис. 2.1л.*).

3. Заповнити *табл. 2.2л.*

Таблиця 2.2л

Номер пацієнта	DF_1	DF_2	Ступінь тяжкості когнітивних порушень

- * 1 – немає когнітивних порушень;
 2 – легкі когнітивні порушення;
 3 – помірні когнітивні порушення

4. Записати висновок роботи.

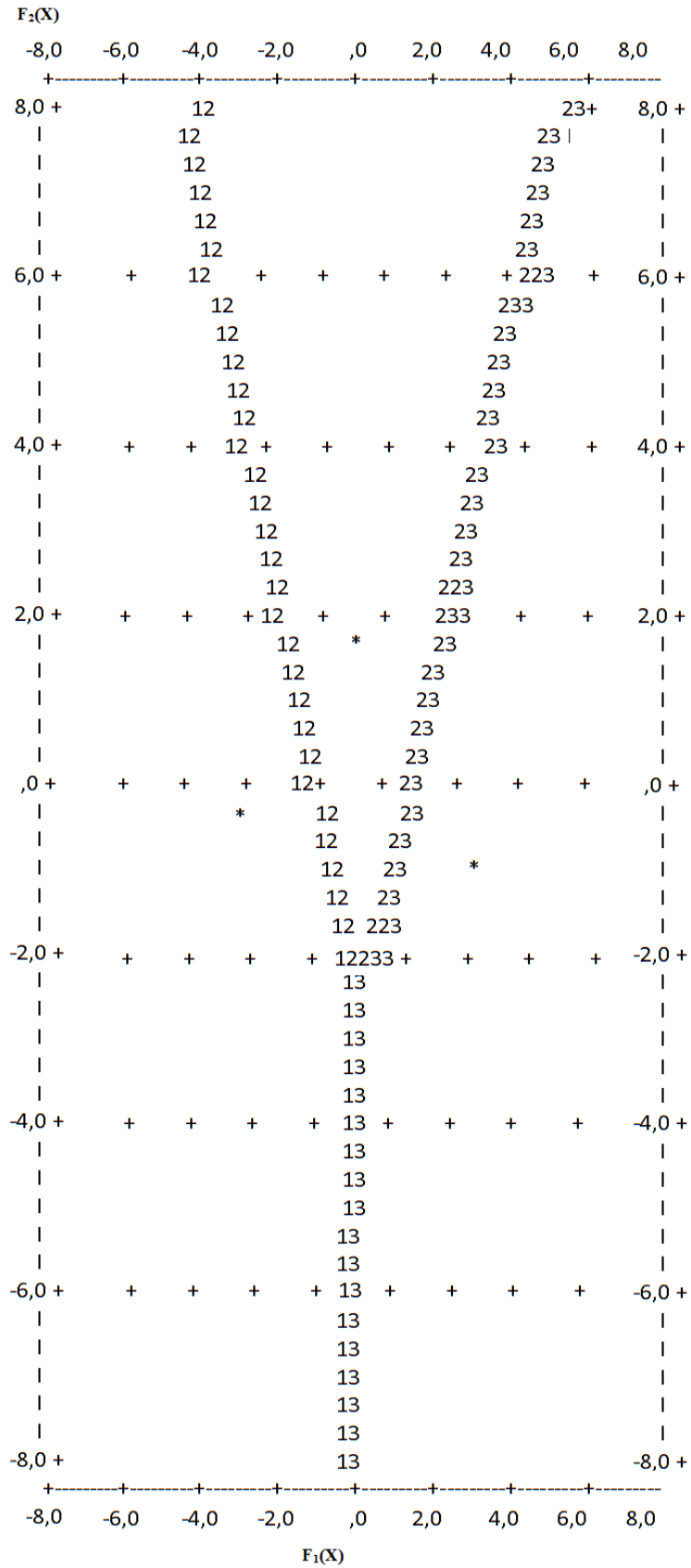


Рис. 2.1л. Територіальна карта

Таблиця значень функції Лапласа

t	φ (t)	t	φ (t)	t	φ (t)	t	φ (t)	t	φ (t)	t	φ (t)
0,00	0,0000	0,43	0,1664	0,86	0,3051	1,29	0,4015	1,72	0,4573	2,30	0,4893
0,01	0,0040	0,44	0,1700	0,87	0,3078	1,30	0,4032	1,73	0,4582	2,32	0,4898
0,02	0,0080	0,45	0,1736	0,88	0,3106	1,31	0,4049	1,74	0,4591	2,34	0,4904
0,03	0,0120	0,46	0,1772	0,89	0,3133	1,32	0,4066	1,75	0,4599	2,36	0,4909
0,04	0,0160	0,47	0,1808	0,90	0,3159	1,33	0,4082	1,76	0,4608	2,38	0,4913
0,05	0,0199	0,48	0,1844	0,91	0,3186	1,34	0,4099	1,77	0,4616	2,40	0,4918
0,06	0,0239	0,49	0,1879	0,92	0,3212	1,35	0,4115	1,78	0,4625	2,42	0,4922
0,07	0,0279	0,50	0,1915	0,93	0,3238	1,36	0,4131	1,79	0,4633	2,44	0,4927
0,08	0,0319	0,51	0,1950	0,94	0,3264	1,37	0,4147	1,80	0,4641	2,46	0,4931
0,09	0,0359	0,52	0,1985	0,95	0,3289	1,38	0,4162	1,81	0,4649	2,48	0,4934
0,10	0,0398	0,53	0,2019	0,96	0,3315	1,39	0,4177	1,82	0,4656	2,50	0,4938
0,11	0,0438	0,54	0,2054	0,97	0,3340	1,40	0,4192	1,83	0,4664	2,52	0,4941
0,12	0,0478	0,55	0,2088	0,98	0,3365	1,41	0,4207	1,84	0,4671	2,54	0,4945
0,13	0,0517	0,56	0,2123	0,99	0,3389	1,42	0,4222	1,85	0,4678	2,56	0,4948
0,14	0,0557	0,57	0,2157	1,00	0,3413	1,43	0,4236	1,86	0,4686	2,58	0,4951
0,15	0,0596	0,58	0,2190	1,01	0,3438	1,44	0,4251	1,87	0,4693	2,60	0,4953
0,16	0,0636	0,59	0,2224	1,02	0,3461	1,45	0,4265	1,88	0,4699	2,62	0,4956
0,17	0,0675	0,60	0,2257	1,03	0,3485	1,46	0,4279	1,89	0,4706	2,64	0,4959
0,18	0,0714	0,61	0,2291	1,04	0,3508	1,47	0,4292	1,90	0,4713	2,66	0,4961
0,19	0,0753	0,62	0,2324	1,05	0,3531	1,48	0,4306	1,91	0,4719	2,68	0,4963
0,20	0,0793	0,63	0,2357	1,06	0,3554	1,49	0,4319	1,92	0,4726	2,70	0,4965
0,21	0,0832	0,64	0,2389	1,07	0,3577	1,50	0,4332	1,93	0,4732	2,72	0,4967
0,22	0,0871	0,65	0,2422	1,08	0,3599	1,51	0,4345	1,94	0,4738	2,74	0,4969
0,23	0,0910	0,66	0,2454	1,09	0,3621	1,52	0,4357	1,95	0,4744	2,76	0,4971
0,24	0,0948	0,67	0,2486	1,10	0,3643	1,53	0,4370	1,96	0,4750	2,78	0,4973
0,25	0,0987	0,68	0,2517	1,11	0,3665	1,54	0,4382	1,97	0,4756	2,80	0,4974
0,26	0,1026	0,69	0,2549	1,12	0,3686	1,55	0,4394	1,98	0,4761	2,82	0,4976
0,27	0,1064	0,70	0,2580	1,13	0,3708	1,56	0,4406	1,99	0,4767	2,84	0,4977
0,28	0,1103	0,71	0,2611	1,14	0,3729	1,57	0,4418	2,00	0,4772	2,86	0,4979
0,29	0,1141	0,72	0,2642	1,15	0,3749	1,58	0,4429	2,02	0,4783	2,88	0,4980
0,30	0,1179	0,73	0,2673	1,16	0,3770	1,59	0,4441	2,04	0,4793	2,90	0,4981
0,31	0,1217	0,74	0,2703	1,17	0,3790	1,60	0,4452	2,06	0,4803	2,92	0,4982
0,32	0,1255	0,75	0,2734	1,18	0,3810	1,61	0,4463	2,08	0,4812	2,94	0,4984
0,33	0,1293	0,76	0,2764	1,19	0,3830	1,62	0,4474	2,10	0,4821	2,96	0,4985
0,34	0,1331	0,77	0,2794	1,20	0,3849	1,63	0,4484	2,12	0,4830	2,98	0,4986
0,35	0,1368	0,78	0,2823	1,21	0,3869	1,64	0,4495	2,14	0,4838	3,00	0,49865
0,36	0,1406	0,79	0,2852	1,22	0,3883	1,65	0,4505	2,16	0,4846	3,20	0,49931
0,37	0,1443	0,80	0,2881	1,23	0,3907	1,66	0,4515	2,18	0,4854	3,40	0,49966
0,38	0,1480	0,81	0,2910	1,24	0,3925	1,67	0,4525	2,20	0,4861	3,60	0,499841
0,39	0,1517	0,82	0,2939	1,25	0,3944	1,68	0,4535	2,22	0,4868	3,80	0,499928
0,40	0,1554	0,83	0,2967	1,26	0,3962	1,69	0,4545	2,24	0,4875	4,00	0,499968
0,41	0,1591	0,84	0,2995	1,27	0,3980	1,70	0,4554	2,26	0,4881	4,50	0,499997
0,42	0,1628	0,85	0,3023	1,28	0,3997	1,71	0,4564	2,28	0,4887	5,00	0,499997

Таблиця значень коефіцієнта Стюдента

$k \backslash \alpha$	0,95	0,99	0,999	$k \backslash \alpha$	0,95	0,99	0,999
1	12,70	63,65	636,61	46	2,013	2,687	3,515
2	4,303	9,925	31,602	47	2,012	2,685	3,510
3	3,182	5,841	12,923	48	2,011	2,682	3,505
4	2,776	4,604	8,610	49	2,010	2,680	3,500
5	2,571	4,032	6,869	50	2,009	2,678	3,496
6	2,447	3,707	5,959	51	2,008	2,676	3,492
7	2,365	3,499	5,408	52	2,007	2,674	3,488
8	2,306	3,355	5,041	53	2,006	2,672	3,484
9	2,262	3,250	4,781	54	2,005	2,670	3,480
10	2,228	3,169	4,587	55	2,004	2,688	3,476
11	2,201	3,106	4,437	56	2,003	2,667	3,473
12	2,179	3,055	4,318	57	2,002	2,665	3,470
13	2,160	3,012	4,221	58	2,002	2,663	3,466
14	2,145	2,977	4,140	59	2,001	2,662	3,463
15	2,131	2,947	4,073	60	2,000	2,660	3,460
16	2,120	2,921	4,015	61	2,000	2,659	3,457
17	2,110	2,898	3,965	62	1,999	2,657	3,454
18	2,101	2,878	3,922	63	1,998	2,656	3,452
19	2,093	2,861	3,883	64	1,998	2,655	3,449
20	2,086	2,845	3,850	65	1,997	2,654	3,447
21	2,080	2,831	3,819	66	1,997	2,652	3,444
22	2,074	2,819	3,792	67	1,996	2,651	3,442
23	2,069	2,807	3,768	68	1,995	2,650	3,439
24	2,064	2,797	3,745	69	1,995	2,649	3,437
25	2,060	2,787	3,725	70	1,994	2,648	3,435
26	2,056	2,779	3,707	71	1,994	2,647	3,433
27	2,052	2,771	3,690	72	1,993	2,646	3,431
28	2,049	2,763	3,674	73	1,993	2,645	3,429
29	2,045	2,756	3,659	74	1,993	2,644	3,427
30	2,042	2,750	3,646	75	1,992	2,643	3,425
31	2,040	2,744	3,633	76	1,992	2,642	3,423
32	2,037	2,738	3,622	77	1,991	2,641	3,422
33	2,035	2,733	3,611	78	1,991	2,640	3,420
34	2,032	2,728	3,601	79	1,990	2,639	3,418
35	2,030	2,724	3,591	80	1,990	2,639	3,416
36	2,028	2,719	3,582	90	1,987	2,632	3,402
37	2,026	2,715	3,574	100	1,984	2,626	3,390
38	2,024	2,712	3,566	110	1,982	2,621	3,381
39	2,023	2,708	3,558	120	1,980	2,617	3,373
40	2,021	2,704	3,551	130	1,978	2,614	3,367
41	2,020	2,701	3,544	140	1,977	2,611	3,361
42	2,018	2,698	3,538	150	1,976	2,609	3,357
43	2,017	2,695	3,532	200	1,972	2,601	3,340
44	2,015	2,692	3,526	250	1,969	2,596	3,330
45	2,014	2,690	3,520	300	1,968	2,592	3,323

Додаток Б

Відповіді на тестові завдання

Тема 1.	A, B, D, A, D, C, C	Тема 5.	C, D, C, A, E, D, D	Тема 8.	A, D, C, A, B, B, E
Тема 2.	C, A, A, B, B, B, A	Тема 6.	C, E, C, A, C, A, A		A, B, D, E, B, B, C
Тема 3.	D, E, A, C, D, A, B	Тема 7.	A, D, C, A, A, D, D	Тема 9.	E, A, D, C, B, A, B
Тема 4.	C, E, A, D, E, A, B			Тема 10.	A, B, A, D, D, A, C

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білошицька О. К. Проєктування медичних інформаційних систем. Практичні роботи : навч. посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 84 с.
2. Висоцька О. В., Страшненко Г. М. Медичні інформаційні системи : навч. посібник. Харків : ХНУРЕ, 2013. 476 с.
3. Волосяк Ю. В., Борян Л. О. Інформаційні технології та комп'ютерна техніка : курс лекцій. Миколаїв, 2022. 192 с.
4. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів : навч. посібник / О. В. Задерейко та ін. 2-ге вид. перероб. і доповн. Одеса : Фенікс, 2022. 233 с.
5. Лубко Д. В., Шаров С. В. Методи та системи штучного інтелекту : навч. посібник. Мелітополь : ФОП Однорог Т. В., 2019. 264 с.
6. Медична інформатика : підручник для студ. мед. ВНЗ / за ред. В. Г. Книгавка. Харків : ХНМУ, 2015. 288 с.
7. Медична інформаційна система «Доктор Елекс»: основи роботи : навч. посібник / за ред. І. Березовської, Ю. Триуса. Львів : Ліга Прес, 2018. 186 с.
8. Медична та біологічна фізика : підручник для студ. мед. ВНЗ / В. Г. Книгавко, О. В. Зайцева, М. А. Бондаренко та ін. ; за ред. В. Г. Книгавка. Харків : ХНМУ, 2017. 354 с.
9. Методичні рекомендації до практичних занять студентів з громадського здоров'я за предметом «Біостатистика» / Г. О. Слабкий, І. С. Мironюк, В. Й. Білак-Лук'янчук та ін. Ужгород. 2020. 155 с.
10. Соціальна медицина, громадське здоров'я : навч. посіб. : у 4 т. / за заг. ред. В. А. Огнєва. Харків : ХНМУ, 2023. Т. 1. Біологічна статистика. 316 с.

ЕЛЕКТРОННИЙ РЕСУРС

1. Базисна спірометрія [Електронний ресурс] <https://empendium.com/ua/chapter/B27.V.25.4.1>.

ЗМІСТ

Передмова	3
Тема 1. Основи медичної інформатики	4
Тема 2. Кодування, класифікація та алгоритмізація медичних завдань . .	18
Тема 3. Медичні інформаційні системи	29
Тема 4. Медичні апаратно-програмні комплекси	41
Тема 5. Елементи теорії ймовірностей	60
Тема 6. Випадкові величини	65
Тема 7. Елементи математичної статистики	73
Тема 8. Математичне моделювання та системний аналіз у медичних дослідженнях	95
Тема 9. Візуалізація медико-біологічних даних. Обробка і аналіз медичних зображень	113
Тема 10. Апарати та системи заміщення втрачених функцій людини	130
Лабораторні роботи	141
Додатки	144
Перелік використаних джерел	146

Навчальне видання

Висоцька Олена Володимирівна
Рисована Любов Михайлівна
Радзішевська Євгенія Борисівна
Гранкіна Світлана Семенівна
Шапкін Антон Сергійович
Гордієнко Ніна Олександрівна
Солодовніков Андрій Сергійович

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ

*Навчальний посібник
для здобувачів вищої освіти
спеціальності «Фізична терапія, ерготерапія»*

Відповідальний за випуск Л. М. Рисована



Редактор М. В. Тарасенко
Комп'ютерний набір С. С. Гранкіна
Комп'ютерна верстка В.В. Брітякова

Формат А4. Ум. друк. арк. 18,5. Зам. № 24-34403.

Редакційно-видавничий відділ
ХНМУ, пр. Науки, 4, м. Харків, 61022
izdatknmurio@gmail.com, vid.redact@knu.edu.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавництв,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції серії ДК