

РОЗДІЛ 1

КОМП'ЮТЕРНА РЕКОНСТРУКТИВНА ТОМОГРАФІЯ ЯК ЗАСІБ ДЛЯ НЕІНВАЗИВНОГО МЕДИЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

Медичне обстеження. Відбір інформації для обстеження внутрішньої будови біооб'єкта. Інформаційний та енергетичний аспекти впливу фізичного поля на біооб'єкт. Інтроскопія. Емісійна та трансемісійна інтроскопія. Одно- та багатопроєкційна інтроскопія. Томографія.

0.1 Концептуальні засади обстеження внутрішньої будови біооб'єктів

Кому обстежували якийсь внутрішній орган методом ендоскопії, рис. 1.1¹ (ευδου — зсередини, та σκοπέω — спостерігаю, грецьк.)², той знає, якою неприємністю може стати ця процедура для пацієнта.



Рис. 1.1 Гнучкий ендоскоп. Світлопровід вводиться у внутрішні порожнини організму через природні шляхи (в шлунок — через рот, в легені — через гортань тощо), або через прокол чи хірургічний доступ

Є ще багато інших методів обстеження, які не тільки неприємні, але й можуть становити загрозу здоров'ю. Але їх продовжують використовувати, бо у низці випадків без такого обстеження неможливо вчасно визначити достовірний стан таких об'єктів обстеження як тканини, внутрішнього органу чи системи органів організму людини. Обстеження є досить складною процедурою, оскільки стан біооб'єктів навіть в „нормі” мінливий,

¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/Endoscopy>

² переклад та транслітерація за Merriam-Webster's collegiate dictionary.— 10th ed., 1997.— 1559 p.; переклад деяких інших іноземних слів наведено також в [1].

різноманітний, ознаки його мають стохастично-нестационарний характер. А під час діагностики за даними від спостереження відповідного біооб'єкту (внутрішніх тканин, органів тощо) необхідно вчасно вибрати достовірне рішення про їх стан. Це означає, що необхідно:

- а) мати значення ознак стану обстежуваного біооб'єкту в „нормі”;
- б) визначити значення ознак біжучого стану обстежуваного біооб'єкту;
- в) порівняти за попередньо обґрунтованим критерієм ознаки визначені за даними обстеження з ознаками „нормального” стану біооб'єкту;
- г) ухвалити рішення про стан біооб'єкту, оцінити достовірність рішення.

Отже, в основі визначення стану біооб'єкту лежить представлення біооб'єкту ознаками цього стану. На підставі низки концептуальних припущень за ознаки вибирають множину спостережуваних біофізичних величин властивих стану біооб'єкту. Ці величини можуть змінюватися з часом, бути розподіленими у просторі (всередині, по поверхні чи навколо біооб'єкту). Проте, з аксіом теорії інформації та теорії складності випливає, що найбільш достовірним та простим представленням об'єкту є сам об'єкт, або його фізичне (оптичне) зображення (у тому числі його внутрішньої будови). Тому в медичній практиці спостереження біооб'єкту часто виконують не досить безпечними методами, шляхом хірургічного втручання, „-томії” — від томї (*грецьк.*), відсікання, розтин³.

За способом отримання значень ознак біжучого стану біооб'єкту під

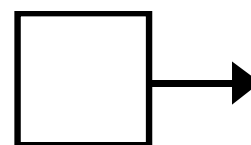


Рис.1.2 Схема пасивного обстеження

час обстеження виокремимо такі групи методів.

Група "А": пасивні методи — визначення або вимірювання фізичних величин, параметрів сигналів, джерелом яких є сам об'єкт спостереження (рис. 1.2).

³ Словник іншомовних слів. Під ред. член-кор. АН УРСР О.С. Мельничука. Київ: Гол.ред. УРЕ АН УРСР, 1974.

Приклади:

а) вимірювання температури. Норма та інформативна ознака задані у числовій формі — $(36,6 - 37) ^\circ\text{C}$; значення температури вимірюється простими технічними засобами.

б) визначення ознак стану біооб'єкту безпосередньо, за допомогою органів чуття лікаря, з використанням або без використання додаткових технічних засобів (пальпація, аускультация, зовнішній огляд — наприклад, в

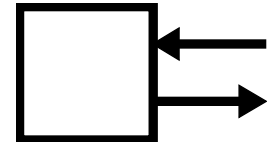


Рис.1.3 Схема активного обстеження

іриодіагностиці тощо).

Група "Б": активні методи — визначення або вимірювання фізичних величин, параметрів реакції біооб'єкта на зовнішнє подразнення (рис. 1.3).

Приклади:

а) введення спеціальних речовин в організм та оцінювання реакції його тканин, органів, систем;

б) ретинографія (електропотенціальний відгук сітківки ока на подразнення її світлом).

Важливим є те, що зовнішній вплив має бути оптимальним (достатньо сильним для отримання інформативної реакції, яку можна зареєструвати, але біооб'єкт при цьому не має суттєво змінитися).

Група "В": ідентифікаційні методи — вимірювання параметрів потоку, хвиль фізичного поля після взаємодії його з біооб'єктом (наприклад, після поширення його крізь біооб'єкт, рис. 1.4). При цьому використовуються природні (фізичні, φύσις, грецьк.) або генеруються штучні „технічні” (τέχνη, грецьк. — штука, староукр.) поля. Крім того, поширення поля може бути транзитивним (наскрізьним) або рефлексивним (віддзеркалювальним), а взаємодія поля з речовиною біооб'єкта повинна відбуватися без суттєвих вторинних ефектів, розсіювання та поглинання його енергії.

Приклади:

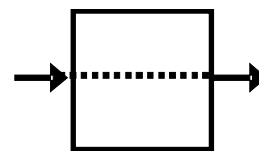


Рис. 1.4 Схема транзитивно-ідентифікаційного обстеження

а) транзитивна ідентифікація — Х-променева індикація (рентгеноскопія, рентгенографія);

б) рефлексивна ідентифікація — ультразвукова індикація (УЗІ).

Концептуальна відмінність поміж методами з груп "А" - "В" в тому, що в одних носіями інформації є біосигнали (притаманні живому організму біофізичні величини, що генеруються в процесі життєдіяльності та реакцій на подразнення, а в других — використовуються зовнішні, сторонні, фізичні або технічні поля. На відміну від методів групи "Б", в яких дія на біооб'єкт повинна перевищувати порогові значення інтенсивності подразнення, методи з групи „В" допускають застосування інтенсивностей енергії без значного впливу на організм (методи з групи „А" не вимагають такого впливу взагалі). Методи медичних обстежень з інтенсивністю впливу на біооб'єкт значно меншою за інтенсивність, яка викликає його миттєву, активну реакцію або відхилення його характеристик чи параметрів від норми називають інформаційними. Інформаційні методи дослідження об'єктів вперше знайшли застосування в техніці, науці, військовій справі тощо — для неруйнівного чи прихованого контролю деталей та конструкцій машин, споруд, у гідро- та геофізиці, астрофізиці, локації тощо. Проте, виходячи із специфіки біооб'єкту (живого організму, його систем, органів) концепції побудови та вимоги до апаратури медичного обстеження мають свої особливості. Їх фіксують у відповідних стандартах.

У посібнику [1] наведено принципи підходу до проектування біотехнічної апаратури. При цьому означено систему базисних (взаємно доповнюючих) множин ознак, які відрізняють медичні апарати від іншої технічної апаратури: Н — неінвазивність, А — адаптивність, С — системність, А — антропогенність, або, у сукупності — НАСА. Очевидно, що дотримання принципу НАСА є обов'язковим при проектуванні не тільки діагностичної апаратури, але й профілактичної, терапевтичної, реабілітаційної.

Н — неінвазивність, від *invasio* (лат.) — втручаюсь. Ця ознака містить гуманітарний та юридичний аспекти. Медична техніка повинна відбирати інформацію від біооб'єкта так, щоб не руйнувати його, не змінювати його структуру, не впливати на фізіологічні процеси та показники і, в ідеальному випадку, повинна бути такою, щоб об'єкт дослідження (пацієнт) не зауважував її застосування. Показник неінвазивності буде тим вищим (кращим), чим менший вплив на пацієнта чинить апаратура, і навпаки (рис. 1.5)⁴.

При дослідженні внутрішньої структури організму найменшу неінвазивність мають хірургічні інструменти. Такі традиційні, як електрокардіографічні, тепловізійні, та деякі інші методи обстежень можна вважати неінвазивними. Але, вже два– три обстеження X-променем комп'ютерним томографом (у середньому, залежно від пацієнта та типу томографа) за дозою (40 mSv) еквівалентні опроміненню жертв атомного бомбування (Хіросіми, Японія), або працівників атомної індустрії (вони отримують дозу до 20 mSv)⁵.



Рис. 1.5 Номінальна шкала неінвазивності технічних засобів

А — адаптивність, від *adapto* (лат.) — пристосовую. Цим означається врахування специфіки живих організмів, як таких, що пристосовуються. Містить такі аспекти:

а) зовнішній — живий біооб'єкт бореться за життя, і тому потрібно вчасно припинити медтехнічне втручання при критичній реакції організму (наприклад, при алергічній реакції на втручання), навіть, якщо ще не отримано потрібної інформації;

⁴ Крім номінальної шкали застосовують й інші шкали, наприклад — ординальну, інтервальну, відносну тощо (для забезпечення інваріантності результатів вимірювань до вимірювальної процедури) [2].

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Computed_tomography. Зіверт — одиниця отриманої дози, помножена на k — коефіцієнт, який враховує радіаційну небезпеку виду випромінювання.

b) внутрішній — організм здатний пристосовуватись до зовнішніх умов, протидіяти втручанню, відштовхувати чужорідні тіла, що приводить до унеможливлення застосування медтехніки;

c) суб'єктивний — коли ми проникаємо в організм, він змінює свої функції, пристосовується, часом пацієнт свідомо чи несвідомо впливає на результати вимірювання, спотворює їх, робить необ'єктивними. Це необхідно враховувати, пристосовувати медтехніку до конкретного біооб'єкта;

d) психологічний — потрібно враховувати і психологічні чинники, які можуть впливати на значення вимірюваних ознак.

С — системність, від *συστήμα* (грец.) — утворення, складення. Людина є складною, сукупністю функціональних частин, які взаємодіють одна з одною. Існує у природному середовищі і взаємодіє з ним — система в системі. Тому при проектуванні біотехнічної апаратури потрібен системний підхід. Бажано вести постійний контроль зовнішніх параметрів, умов зовнішнього середовища, враховувати їх вплив на біооб'єкт, враховувати взаємозв'язок підсистем, враховувати аналіз багатьох сигналів, різної фізичної природи, від сукупно. Наприклад, зображення на тепловізорі при температурі 12 °С в неопалюваному приміщенні буде відрізнятися від отриманого при нормальній кімнатній температурі; після значного фізичного навантаження показники тиску і пульсу також будуть далекими від норми.

А — антропогенність, від грецьких слів *άνθρωπος* — людина та *γένεσις* — походження, рід. Діагностує, лічить лікар. Медична техніка лише допомагає йому у цьому. Вона повинна відібрати об'єктивну інформацію і представити її у формі, зручній для сприйняття лікарем, вказати на можливі варіанти, наприклад, діагнозу, висновку, але не остаточні. Юридичну (і моральну) відповідальність несе лікар. Сучасні діагностично-експертні системи використовують великі бази даних та знань, готові приклади типових патологій, норм тощо при формуванні інформації, яка виводиться, наприклад, на екран. Вона може підлаштовуватися під стандартне зображення, яке вже знайоме лікарю. Але завжди надається технічна можливість змінити той варіант, який пропонує машина — наприклад, через натискання „кнопки” "УТОЧНИТИ" на спеціальному пульті керування діагностичної системи та відповідне програмне оброблення такого фізичного переривання її роботи.

Перераховані ознаки формують 4-х координатну систему — базис (рис. 1.6). Залежно від типу біотехнічна система є

„точкою” в цьому понятійному, чотиривимірному просторі. За означенням номінальної шкали чим далі знаходиться ця точка від початку координат, тим система краща. Залежно від важливості кожного з показників для конкретного типу медичної апаратури, можна сформулювати узагальнений показник якості біотехнічних систем, як функцію від чотирьох координат у базисі НАСА: $q = f(n, ad, s, an)$, причому для більшості терапевтичних систем важливішими параметрами є адаптивність та системність, а для діагностичних — неінвазивність.

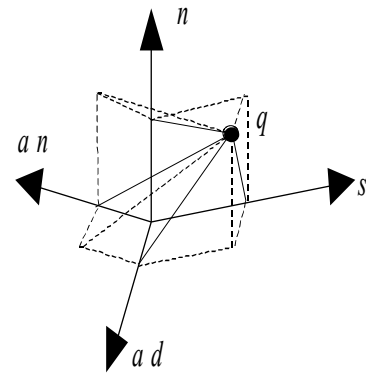


Рис. 1.6 Базис НАСА

0.2 Медична інтроскопія. Комп'ютерна томографія.

Методи обстеження з групи "А" (рис. 1.2) є простими. Проте, для підвищення достовірності, прогностичності, швидкості визначення стану обстежуваного об'єкту використовуються значно складніші методи груп "Б" та "В" (рис. 1.3 та рис. 1.4).

Групу методів спостереження за схемою рис. 1.4 називають медичною інтроскопією, від *intro* (лат.) — всередині та *σκοπέω* (грец.) — спостерігаю. Методами інтроскопії обстежують внутрішню структуру біооб'єктів достатньо неінвазивно. Для інтроскопії використовуються промені (хвилі, потоки частинок) різного походження (фізичні та технічні), які, поширюючись крізь біооб'єкт (трансемісійна або емісійна інтроскопія, рис. 1.7), або віддзеркалюючись від нього (рефлексійна інтроскопія), взаємодіють з ним, і, тому, містять інформацію про його внутрішню структуру. При емісійній інтроскопії (рис. 1.7, а), джерело випромінювання розміщене всередині самого біооб'єкту, а вимірювання проводиться за його межами. Наприклад, при емісійній радіоізотопній томографії радіоактивна речовина попередньо вводиться в організм шляхом інгаляції або ін'єкції. При трансемісійній інтроскопії випромінювання проходить від зовнішнього джерела через об'єкт до його детекторів (рис. 1.7, б).

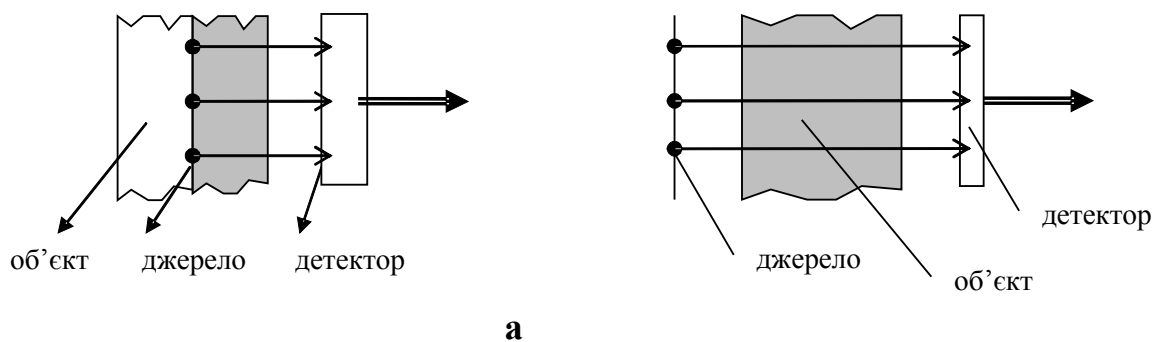


Рис. 1.7 Схеми емісійної (а) та трансемісійної (б) інтроскопії.

Під час інтроскопії створене технічно або природне поле, пронизивши біооб'єкт, змінює свою структуру (просторову орієнтацію силових ліній, інтенсивність тощо). Відповідно зареєструвавши цю зміну можна отримати проекцію внутрішнього середовища об'єкта. Хвилю (поле) від зовнішнього джерела після взаємодії з об'єктом обстеження можна означити (назвати) носієм відомостей про об'єкт (або, сигналом, *signal* — знак, *лат.*). Важливо зазначити, що при інтроскопії важливим є саме сигнальний (інформаційний) аспект взаємодії, а не енергетичний. Внаслідок взаємодії „фізичне поле-біооб'єкт” повинні змінюватись лише властивості носія (поля), а не властивості біооб'єкта (інформаційна взаємодія). Це основна відмінність інтроскопії від багатьох терапевтичних застосувань опромінення, коли застосовується енергетична взаємодія, тобто коли суттєвою є не зміна фізичного поля, а зміна об'єкту.

Якщо виконати поперечні (з торця) проектування тонкого шару (зрізу) досліджуваного об'єкта, то сукупність отриманих проекцій уможливує реконструкцію зображення розподілу речовин (структури) по площині зрізу шляхом математичної обробки цих проекцій. Таке зображення називають томограмою, а спосіб отримання його — томографією. Слово "томографія" походить від грецького слова "τόμος" — шар, шматок, та "γράφω" — писати.

Томографія є розвитком, удосконаленням методу інтроскопії, оскільки є не одно-, а багато проекційним методом, що більш інформативно. Методи класичної інтроскопії є частинним випадком томографії (при якій виконується проектування з одного ракурсу, „поздовжнє”, відносно отриманого зображення, яке є тінню внутрішнього середовища об'єкту).

Деколи томографію називають багатопроєкційною інтроскопією. Це справедливо, коли в основу означення методу покласти менш інформативне

за змістом, але ширше за обшаром складне слово („інтро-“ ширше за змістом ніж „томо-“).

В 1963 р. математик Allan M. Cormack (США) розробив метод реконструкції зображення зрізів об'єктів для випромінювань з експоненційним зниканням інтенсивності в їх внутрішньому середовищі (для X- та γ — променів) та виконав експерименти для фізичної моделі з γ — променями, рис. 1.8 [3].

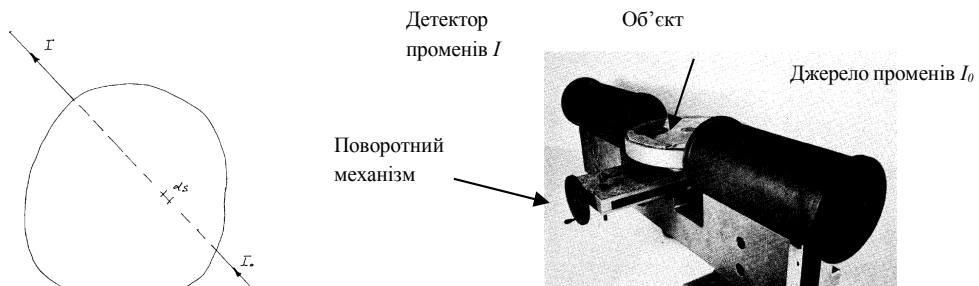


Рис. 1.8
Математична (а) та фізична (б) моделі томографічного експерименту

Реконструктивна обчислювальна томографія — це метод отримання (реконструкції) зображення розподілу речовини по площині зрізу біооб'єкта за допомогою обчислювальних операцій над поперечними його проєкціями, отриманими в результаті інформаційної взаємодії фізичного поля з речовиною біооб'єкта.

В 1972 р. було виготовлено перший клінічний X-променеви томограф та отримано першу томограму головного мозку людини, рис. 1.9, [4].

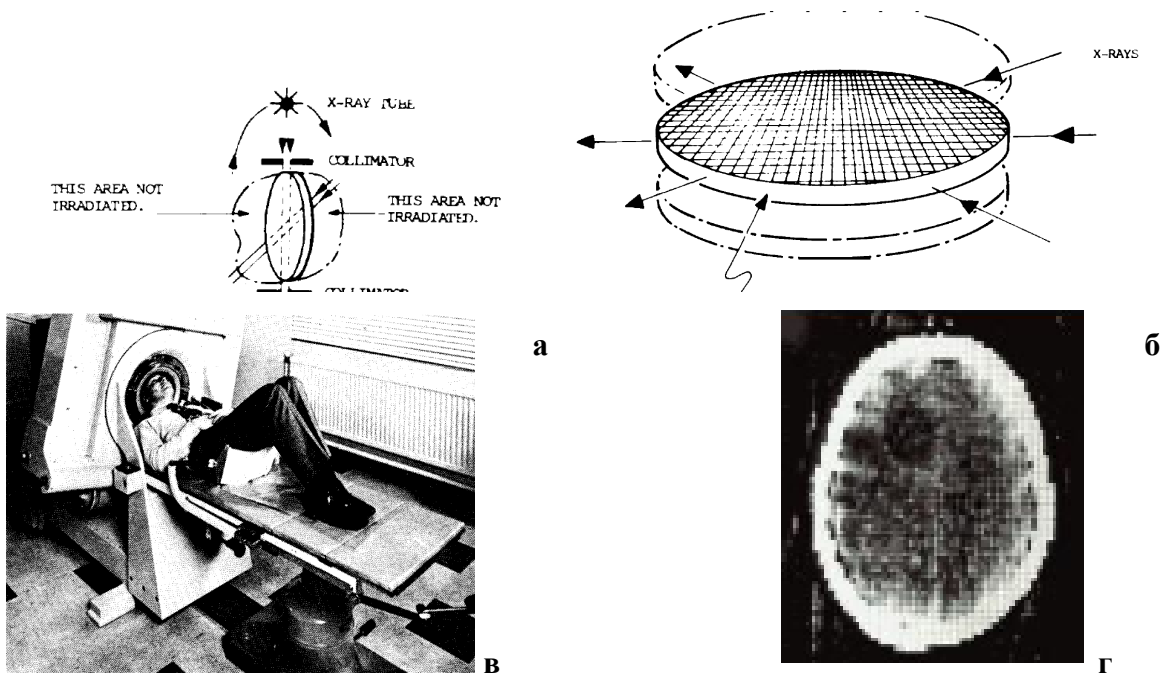


Рис.1.9.
Схеми сканування (а, б) і перший клінічний - сканер голови (в) та перша томограма головного мозку (г)

У СРСР перший томограф СРТ-1000 був розроблений в 1978 р. під керівництвом І.Б. Рубашова (1987-1998 р.р. — директор Всесоюзного науково-дослідного інституту комп'ютерної томографії) [5, 6].

До 1979 р. томографи вже вироблялись багатьма фірмами серійно (сканер ЕМІ коштував \$390 000) і застосовувалися більше ніж в 2000 клініках світу.

На рис 1.10 наведено зразки томограм, отриманих на сучасному Х-променевому томографі⁶.

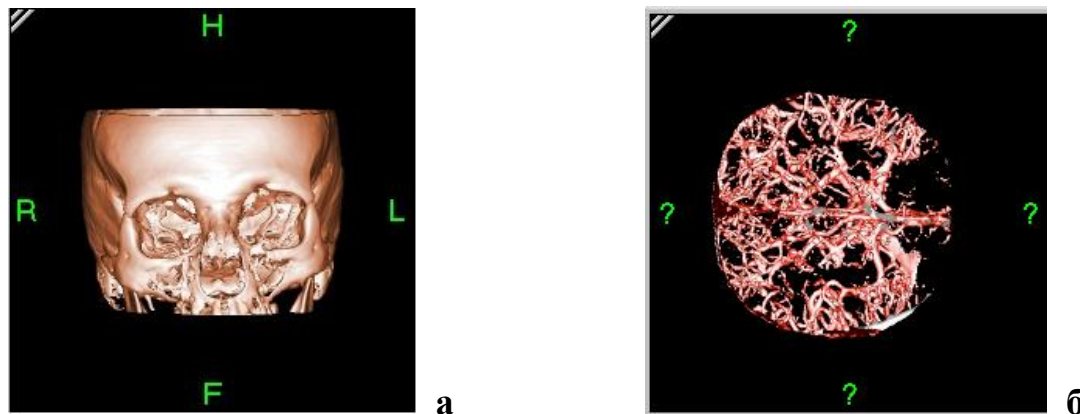


Рис. 1.10 Томограма кісткової тканини (а) та судин мозку (б) ГОЛОВИ ЛЮДИНИ

На рис. 1.11 наведено вигляд пристрою сканування Х-променевого томографа⁷.

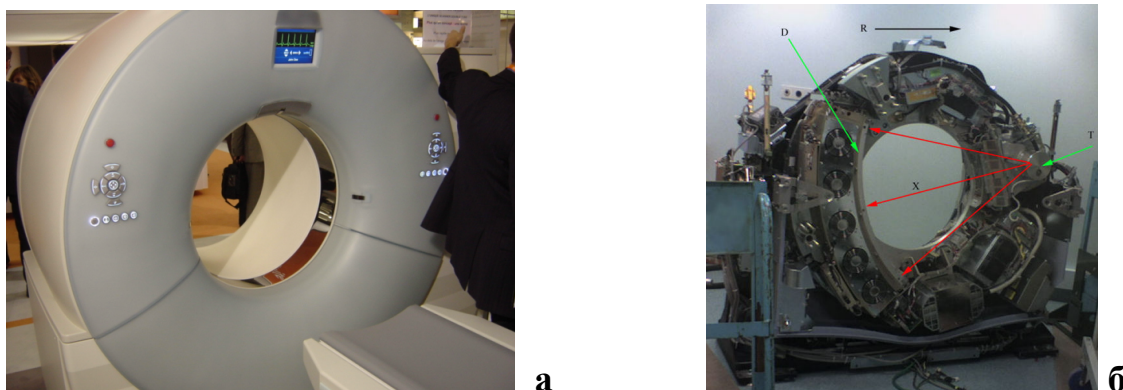


Рис.1.11 (а) —Зовнішній вигляд (а) та будова (б) гантрі

На рис. 1.11 (а) у правому нижньому куті знаходиться пристрій для поздовжнього переміщення пацієнта; на рис. 1.11 (б) позначено: Т —

⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Computed_tomography

⁷ *ibid* (там само)

джерело X- променя, X — напрям X- випромінювання, D — детектори, R — напрям обертання частини пристрою сканування (gantry, „гентрі”).

Питання для самоперевірки

1. Що таке медичне обстеження та які його методи?
2. Що таке стан біооб'єкту та які його ознаки?
3. Чим відрізняються медичні апарати від іншої технічної апаратури?
4. Навести загальну схему неінвазивного медичного обстеження.
5. Що таке „інтроскопія”, „томографія” та чим вони відрізняється?
6. Фізичне та математичне підґрунття томографії.

Література до розділу 1

1. Яворський Б. І. Введення в спеціальність. — Тернопіль: ТДТУ, 1999.— 32 с.
2. Орлов А.И. Репрезентативная теория измерений и ее применения. – Журнал “Заводская лаборатория”. 1999. Т.65. No.3. С. 57-62.
3. Cormack A.M. Early two-dimensional reconstruction and recent topics stemming from it / Nobel Lecture, 8 December, 1979
4. Hounsfield G.N. Computed medical imaging / Nobel Lecture, 8 December, 1979
5. Лопата В.А. К истории рентгеновской томографии// Электроника и связь.- №5, 2010.- с. 236-242.
6. Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.