

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ**  
**ЗАПОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра урології, променевої діагностики і терапії**

**Н.В.Туманська, К.С.Барська, І.П. Джос**

**ТОМОГРАФІЧНІ МЕТОДИ**  
**ПРОМЕНЕВОЇ ДІАГНОСТИКИ**

**Навчальний посібник**  
**для студентів**

*Запоріжжя*

*2016*

**Укладачі:**

**Туманська Н. В.** – кандидат медичних наук, доцент, доцент кафедри урології, променевої діагностики і терапії Запорізького державного медичного університету.

**Барська К.С.** – асистент кафедри урології, променевої діагностики і терапії Запорізького державного медичного університету.

**Джос І.П.** – асистент кафедри урології, променевої діагностики і терапії Запорізького державного медичного університету.

Методи променевої діагностики : навчальний посібник для студентів / уклад. Н.В. Туманська, К.С. Барська, І.П. Джос – Запоріжжя : [ЗДМУ], 2016. – 92 с.

У навчальному посібнику представлені історія розвитку томографічних методів променевої діагностики, фізичні основи комп'ютерної і магнітнорезонансної томографії, принципи отримання зображення, показання до застосування різних методик томографічного дослідження, методики комп'ютерної і магнітнорезонансної томографії різних органів і систем. В кінці кожного розділу пропонуються тестові та контрольні питання. Цей навчальний посібник призначений для студентів медичних ВНЗів.

## Зміст

Вступ.....	
<b>Розділ 1. Томографія.....</b>	
1.1. Томографія, її види.....	
1.2. Лінійна томографія.....	
<b>Розділ 2. Комп'ютерна томографія.....</b>	
2.1. Комп'ютерна томографія – рентгенологічний метод дослідження.....	
2.2. Історія виникнення комп'ютерної томографії.....	
2.3. Фізичні основи рентгенівської комп'ютерної томографії.....	
2.4. Переваги комп'ютерної томографії.....	
2.5. Штучне контрастування в комп'ютерній томографії.....	
2.6. Зображення, які отримують при КТ.....	
2.7. Основні терміни, які використовують при КТ.....	
<b>Розділ 3. Магнітно-резонансна томографія.....</b>	
3.1. Історія створення магнітно-резонансної томографії.....	
3.2. Фізичні основи магнітно-резонансної томографії і формування МР- зображення.....	
3.3. Магнітно-резонансна томографія зі штучним контрастуванням.....	
3.4. Переваги і недоліки магнітно-резонансної томографії.....	
3.5. Основна термінологія, яка використовується при МРТ.....	
<b>Розділ 4. Радіонуклідні томографічні методи діагностики</b>	
4.1. Радіонуклідна діагностика, історія її розвитку.....	
4.2. Фізичні основи радіонуклідної діагностики.....	
4.3. Радіофармацевтичні препарати.....	
4.4. Види радіонуклідних томографічних досліджень.....	
4.5. Напрямки і переваги застосування радіонуклідних досліджень.....	
4.6. Основна термінологія, яка використовується при МРТ.....	

Питання для самоконтролю.....	
Тестові завдання.....	
Перелік скорочень.....	
Список літератури.....	

## Вступ

Останнім часом значний прогрес у діагностиці та своєчасному лікуванні багатьох захворювань пов'язаний з впровадженням у медичну практику методів візуалізації, що дозволяють одержувати зображення внутрішньої структури та функціонування практично всіх органів і навіть тканин людського організму без інвазивного втручання.

В даний час променева діагностика - основна діагностична дисципліна клінічної медицини. Сучасна променева діагностика являє собою комплекс основного рентгенологічного методу та нові візуалізуючі діагностичні технології, які активно розвиваються. Сьогодні рутинне рентгенівське дослідження переходить на цифрові методи отримання зображень. З впровадженням комп'ютерних технологій з'явилася та бурхливо вдосконалюється комп'ютерна томографія (КТ). Були відкриті методи візуалізації, які не використовують в своїй основі іонізуюче випромінювання. Магнітно-резонансна томографія (МРТ) у багатьох клінічних ситуаціях дає лікареві вирішальну діагностичну інформацію.

Не втратили своєї актуальності і радіонуклідні методи, які поповнилися новітнім унікальним методом - позитронно-емісійною томографією (ПЕТ), що дозволяє не тільки отримувати зображення, а й вивчати функцію та метаболізм внутрішніх органів. ПЕТ вирішує питання діагностики захворювання на початковому етапі, до того, як воно може бути виявлене за допомогою УЗД, КТ, МРТ, і до появи клінічних проявів.

Винайдено комбіновані апарати, що поєднують різні методи візуалізації: радіоізотопні та КТ, що підвищують рівень отримання діагностичної інформації. На перетині променевої діагностики та хірургії народився новий напрям в медицині - інтервенційна радіологія. У повсякденну практику лікаря впровадилися малоінвазивні діагностичні та

лікувальні маніпуляції під контролем різних променевих технологій, що підвищили якість діагностики та лікування.

В даний час променеві методи дослідження, а особливо томографічні, важко назвати допоміжними. Вони вирішують багато основних завдань:

- раннього (у ряді випадків доклінічного) виявлення захворювання;
- неінвазивного визначення патологічних змін структури та функції органів і тканин, їх ступені та стадії;
- диференціальної діагностики виявлених патологічних змін;
- оцінки найближчих та віддалених результатів різних видів лікування.

Променева діагностика базується на фундаментальних медичних і фізико-математичних дисциплінах. Вона відображає базисні інтегровані знання нормальної, топографічної, патологічної анатомії та фізіології, біологічної фізики та хімії, отримані студентами до моменту початкового вивчення променевої діагностики. Роль кожного методу променевої діагностики велика, але вона набуває більш вагомого значення, коли поєднується з клінічними та лабораторними даними. Для ретельного розуміння й аналізу отриманої променевої інформації променева діагностика вивчається студентами паралельно з клінічними дисциплінами, з якими вона нерозривно пов'язана: терапією, хірургією, онкологією, кардіологією, пульмонологією, ендокринологією, неврологією, гінекологією, урологією та багатьма іншими.

Кожен з методів променевого дослідження використовує різні види проникаючих іонізуючих та неіонізуючих випромінювань, характеризується своєрідністю зображення, діагностичними можливостями та доступністю. Рішення кожного із завдань променевої діагностики стосовно конкретного клінічного випадку вимагає використання різних променевих методик та їх поєднання.

У зв'язку з цими різноманітними аспектами перед студентами вищих медичних навчальних закладів, які вивчають променеву діагностику, стоять важливі завдання.

Перш за все, це вивчення принципів генерації та фізичних характеристик рентгенівських променів, явищ ядерно-магнітного резонансу та фізико-біологічних характеристик різних радіонуклідів, механізму біологічної дії іонізуючих та неіонізуючих видів випромінювань.

Методичні рекомендації допоможуть зрозуміти принципи отримання інформації за допомогою різноманітних методів томографічного дослідження.

Для ефективного використання кожного з безлічі сучасних методів променевого дослідження в діагностиці конкретного захворювання майбутньому лікарю необхідно визначити призначення цих методів дослідження, показання та протипоказання до них і навчитися вибирати оптимальний для певної клінічної ситуації. При цьому, для отримання максимально швидкого й ефективного діагностичного результату, слід враховувати здатність методу забезпечити лікаря найбільш повною інформацією про морфологічний і функціональний стан різних органів, біологічну дію випромінювань, що застосовуються при цьому методі, а також доступність й економічність.

Мета і завдання занять з томографічних методів дослідження :

1. Висвітлити історію розвитку різних томографічних методів променевої діагностики.
2. Освоїти принципи формування зображення при різних методах томографії.
3. Вивчити основні терміни, які використовуються в різних методах томографічного дослідження.
4. Показати діагностичне значення томографічних методів дослідження.

5. Навчити студентів орієнтуватися у виборі променевого методу дослідження того чи іншого органу чи системи органів в залежності від даних анамнезу та візуального обстеження.
6. Побудувати алгоритм послідовного променевого дослідження того чи іншого органу чи системи органів в залежності від локалізації та перебігу патологічного процесу.
7. Навчити студентів оцінці та аналізу отриманих діагностичних зображень при різноманітних патологічних процесах.



# РОЗДІЛ 1. ТОМОГРАФІЯ

## 1.1 Томографія, її види

**Томографія** - метод отримання пошарових зображень досліджуваних органів та тканин.

Основним недоліком класичного рентгенологічного методу дослідження є сумацийний ефект – ефект наложення одних органів і тканин на інші, який заважає діагностиці деяких патологічних процесів.

Для усунення сумацийного ефекту застосовують різноманітні методи томографії.

### **Види томографії:**

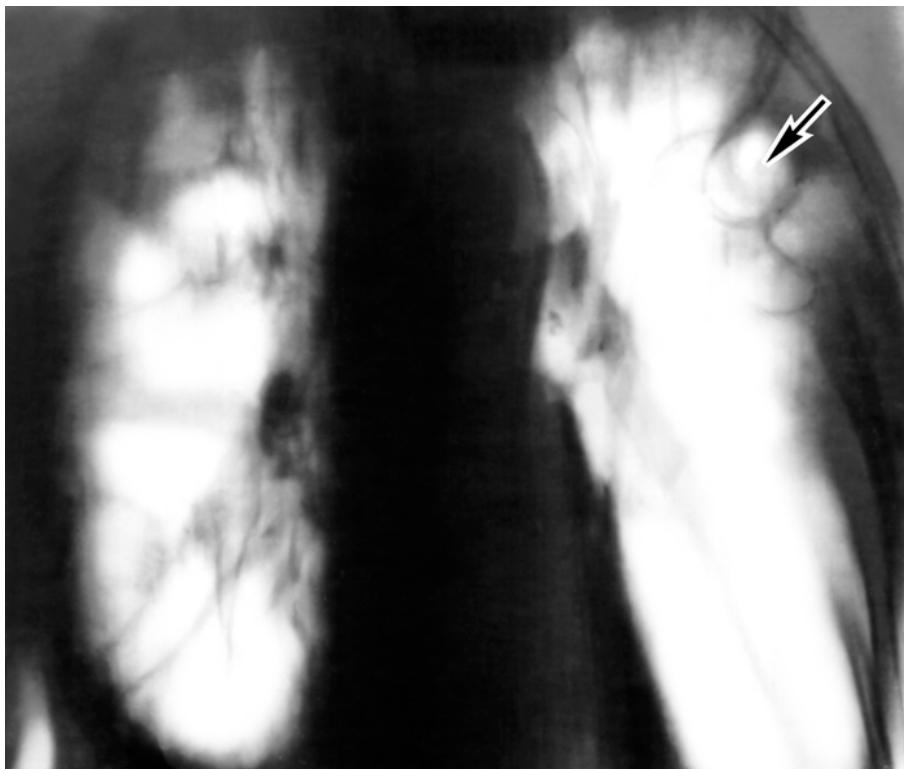
- лінійна
- рентгенівська комп'ютерна
- магнітно-резонансна
- радіонуклідні томографічні методики (ОФЕКТ, ПЕТ)

## 1.2 Лінійна томографія

- методика рентгенологічного дослідження з отриманням пошарових зображень досліджуваних органів і тканин пацієнта на рентгенівській плівці.

На рентгенограмі виходить сумацийне зображення будь-якої частини тіла. Томографія служить для отримання зображення структур, розташованих в одній площині, на рівні певного шару без ефекту нашаровування одних органів і тканин на інші. Такий ефект досягається за допомогою особливого технічного підходу: відбувається безперервний рух під час зйомки в різних напрямках рентгенівської трубки, що випромінює пучок променів, та касети з плівкою щодо досліджуваного об'єкта. Цим досягається виділення

спеціального томографічного зрізу. Завдяки частковому усуненню сумацийного ефекту, поліпшується якість зображення органів на рівні виділеного шару. За зовнішнім виглядом лінійна томограма відрізняється від рентгенограми відсутністю візуалізації органів вище та нижче досліджуваного рівня, наявністю нерізкості шарів, розташованих вище та нижче цього рівня і більш чіткою візуалізацією досліджуваного об'єкта в площині томографічного зрізу. Наприклад, на лінійній томограмі легенів відсутня візуалізація ребер (мал. 1).

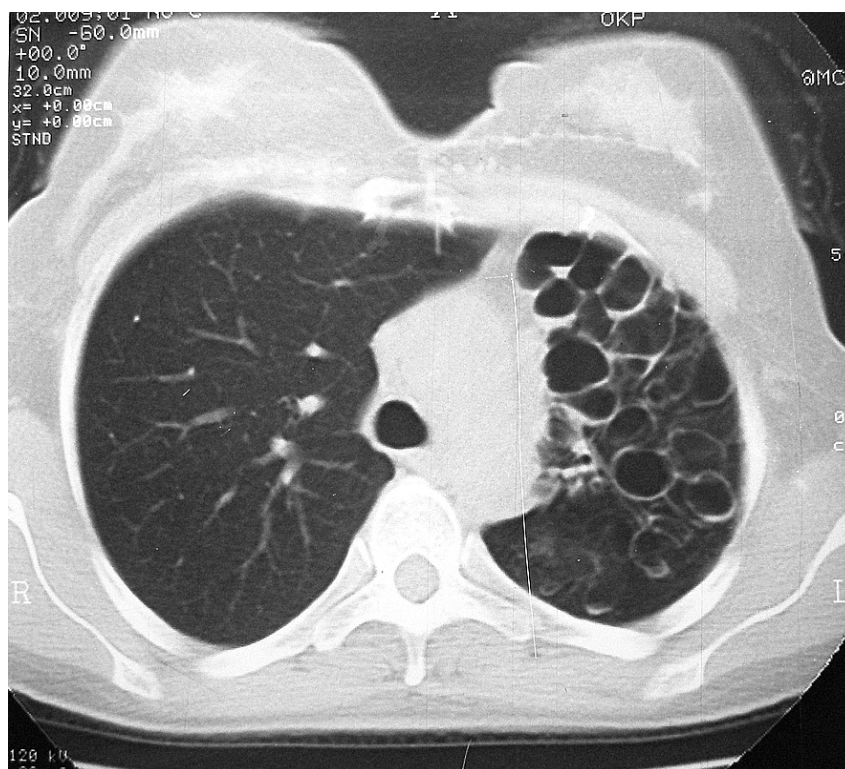


Мал.1. Лінійна томограма: кисти легенів

Лінійна томографія допомагає точніше визначити локалізацію, поширеність, характер і структуру патологічного процесу, виявити дрібні патологічні утворення та порожнини.

На відміну від лінійної томографії рентгенівська комп'ютерна та магнітно-резонансна томографія дозволяють практично повністю усунути

сумацийний ефект, тому в даний час лінійна томографія застосовується рідко, витісняючись цими новими методами (мал. 2).



Мал. 2. Комп'ютерна томограма органів грудної порожнини: кісти легені

## РОЗДІЛ 2. КОМП'ЮТЕРНА ТОМОГРАФІЯ

### 2.1 Комп'ютерна томографія – рентгенологічний метод дослідження

**Комп'ютерна томографія** - рентгенологічний метод дослідження, який ґрунтується на комп'ютерній обробці безлічі рентгенівських зображень, з отриманням аксіальних пошарових зрізів досліджуваних органів і тканин пацієнта.

Комп'ютерна томографія є рентгенологічним методом, в основі якого застосовують рентгенівські промені. Рентгенологічне дослідження - метод променевої діагностики, при якому для отримання діагностичних зображень використовують рентгенівські промені.

Людство знайоме з рентгенівськими променями, названими на честь вченого, який відкрив їх, з кінця XIX століття.

8 листопада 1895 професор фізики Вюрцбурзького університету Вільгельм Конрад Рентген (1845-1923), будучи активним фізиком-експериментатором, вивчаючи у своїй лабораторії роботу електровакуумної (катодної) трубки, помітив, що при подачі струму високої напруги на її електроди з'являється зеленувате світіння, яке знаходилося на значній відстані від люмінесціюючої речовини - платиносинеродистого барію (мал.3).



Мал.3. Вільгельм Конрад Рентген

В. К. Рентген щільно обернув катодну трубку чорним картоном, повторив дослід в темній кімнаті для виключення потрапляння на екран випромінювання світлового спектру і знову отримав світіння флюоресцентного екрану. Вчений почав відсувати платиносинеродистий барій від працюючої катодної трубки, але світіння екрана зберігалось. Рентген прийшов до висновку, що в трубці виникають якісь невідомі науці промені, що мають здатність проникати крізь тверді тіла і поширюватися в повітрі на відстані, що вимірюється метрами. В. К. Рентген повторював експеримент багато разів і встановив, що виявлений феномен не був пов'язаний ні з відображенням звичайного світла, ні з катодними променями, оскільки вони не проникають через повітря на великі відстані. Після багаторазових дослідів він попросив свою дружину Берту дозволити йому сфотографувати її руку за допомогою нових променів, і 22 грудня 1895 р. була отримана перша в світі рентгенограма людини (мал.4).



Мал.4. Рентгенограма госпожи Рентген (зроблена 22 грудня 1895 року)

28 грудня 1895 В.К. Рентген здав до друку своє повідомлення «Про новий вигляд променів. Перше повідомлення», опубліковане в «Звітах про засідання Фізико-медичного товариства Вюрцбурга». 23 січня 1896 р. В.К. Рентген виклав свою роботу в доповіді на засіданні Фізико-математичного товариства Вюрцбурга.

Це відкриття справило світову сенсацію. В суспільстві навіть ходили чутки, що за допомогою нових променів можна отримати не тільки зображення органів людини, але й читати її думки.

Відкритий В.К. Рентгеном новий вид випромінювання назвали Х-променями. Рентген першим серед фізиків в 1901 р. за своє відкриття був удостоєний Нобелівської премії, яка була вручена йому в 1909 р. Рішенням міжнародного з'їзду з рентгенології в 1906 р. Х-промені названі рентгенівськими. Так народилася нова медична спеціальність - променева діагностика.

Види випромінювань,  
що використовуються в променевій діагностиці

***неіонізуючі:***

теплове (інфрачервоне)  
резонансне  
ультразвукові хвилі

***іонізуючі:***

рентгенівське  
радіоактивні елементи

***Їх відмінності:***

Не викликають іонізації атомів

Викликають іонізацію атомів

(розпад на протилежно заряджені частки-іони )

**Біологічна дія випромінювань.** Всі випромінювання, як неіонізуючі, так й іонізуючі, характеризуються біологічною дією, оскільки здатні викликати зміни в живих організмах. Однак енергія ультразвукових хвиль й електромагнітних коливань, що використовуються в діагностиці, значно нижче енергії, яка супроводжується механічною і хімічною реакцією тканин. До теперішнього часу шкідливих впливів ультразвуку, стабільного магнітного поля і високочастотних радіохвиль на організм біологічних істот, у тому числі й людини, не зареєстровано, тому їх вважають практично нешкідливими, але питання про їх біологічну дію продовжує вивчатися.

Біологічна дія іонізуючих випромінювань відома з кінця XIX століття, коли в 1895 р. німецький фізик К.В. Рентген відкрив новий вид невидимого випромінювання, здатного проникати в глибину тканин та клітин, а в 1896 р. А. Беккерель встановив, що уран здатний випускати промені, за властивостями схожі на відкриті Рентгеном. Незнання шкідливих властивостей іонізуючих випромінювань призвело до ураження десятків та сотень людей. У 1895 р. асистент Рентгена Вільям Грубе отримав радіаційний опік рук. Сильний вплив випромінювань радію випробував сам Анрі Беккерель. Пробірка з радієм, що знаходилася в кишені жилета Анрі Беккереля, викликала почервоніння шкіри живота з подальшою появою виразок.

### **Стадії біологічної дії іонізуючих випромінювань на об'єкт:**

1. Фізична стадія - у процесі якої відбувається поглинання енергії випромінювання опроміненим середовищем, при якому виникають збуджені й іонізовані молекули (білки, вуглеводи, жири, нуклеїнові кислоти, вода, різні низькомолекулярні органічні та неорганічні сполуки).

2. Фізико-хімічна стадія - в цю стадію поглинена енергія мігрує по макромолекулярним структурам і перерозподіляється між збудженими й іонізованими молекулами, викликаючи руйнування хімічних зв'язків там, де ці зв'язки менш міцні, а в мікрооточенні з'являються нові іони, сольватовані електрони та вільні радикали.

3. Хімічна стадія - протягом цієї стадії іони, що утворилися, та вільні радикали взаємодіють між собою та з оточуючими молекулами. В результаті утворюються нові продукти - супероксидний аніон, гідропероксид, пероксид водню, атомарний та синглетний кисень, що є сильними окислювачами органічних речовин біосубстрату. При впливі продуктів радіолізу води на амінокислоти, білки, вуглеводи, нуклеотиди, фосфоліпіди, ДНК утворюються органічні вільні радикали. Виникають основні структурні пошкодження, при цьому найбільше значення для подальшої долі опроміненої клітини мають процеси, що відбуваються в молекулах ДНК, білків і фосфоліпідів. У білкових макромолекулах дія іонізуючого випромінювання призводить до порушення первинної структури: розриву дисульфідних містків, водневих зв'язків, пептидного ланцюга; утворення зшивок між пептидними ланцюгами, окислення сульфгідрильних груп й ароматичних амінокислот. Результатом цих процесів є зміна вторинної та третинної структури білків, що веде, в свою чергу, до порушення їх біологічних властивостей, у тому числі ферментативної, гормональної, рецепторної активності. Змінюється



відносний хімічний склад фосфоліпідів мембран, їх в'язкість, проникність, багато фізико-хімічних характеристик з наступним порушенням життєво необхідних для клітини функцій - бар'єрної, рецепторно-сигнальної, регуляторної, транспортної тощо. Ураження мембран мітохондрій, мікросом, лізосом, ендоплазматичного ретикулуму викликає порушення структури та функції цих утворень і клітин в цілому. Пошкодження мембран лізосом і вихід за їх межі протеаз сприяють в ранні терміни після опромінення активації процесів протеолізу. Розвиваються ушкодження ядерної ДНК: одониткові розриви, пошкодження основ, двониткові або подвійні розриви, порушення вторинної структури та надмолекулярної організації, що призводять до порушень структури та функцій клітини. Спостерігається гальмування росту та поділу клітин, дистрофічні зміни, аж до загибелі.

4. Біологічна стадія - формування ушкоджень на клітинному, тканинному, органному та організменному рівнях, формування віддалених наслідків опромінення. Зміни в хромосомному апараті клітини позначаються на її спадкових властивостях: ведуть до радіаційної мутації, в соматичних клітинах – до появи клітин з новими якостями, тобто клітин - джерел пухлинних захворювань. Мутації в статевих клітинах виявляються в наступних поколіннях, що веде до зростання спадкових хвороб.

Однак дія іонізуючих випромінювань на різні біологічні об'єкти неоднакова. Кожному виду клітин і тканин властива своя радіочутливість або радіорезистентність - міра чутливості або стійкості до дії іонізуючих випромінювань.

Радіочутливість тканин прямо пропорційна проліферативній активності та обернено пропорційна ступеню диференційованості складових її клітин (правило Бергоньє-Трибондо). Найбільш радіочутливим в організмі є

тканини, що містять малодиференційовані клітини, які активно розмножуються.

За ступенем радіочутливості, від найбільш радіочутливих до найбільш радіорезистентних, тканини організму розташовуються таким чином:

- мієлоїдна, лімфоїдна,
- епітелій: гермінативний, кишковий і покривний,
- м'язова, нервова, хрящова та кісткова тканини.

Також радіочутливість клітини, тканини та органу залежить від виду випромінювання, яке на них впливає, стадії мітотичного циклу клітини, ступеня оксигенації, функціонального стану (зазвичай посилюється при підвищенні функцій), а також від зовнішніх факторів: температури, вмісту кисню та води.

Таким чином, будь-яке застосування іонізуючих випромінювань в медичних цілях вимагає обов'язкового обґрунтування, дотримання правил радіаційної безпеки, протипроменевого захисту пацієнтів та медичного персоналу.

### **Властивості рентгенівських променів**

Рентгенівські промені мають такі властивості:

- ✓ проникають крізь непрозорі тіла;
- ✓ зумовлюють світіння деяких хімічних з'єднань;
- ✓ розкладають галоїдні з'єднання срібла;
- ✓ змінюють електропровідність напівпровідникових пластин;
- ✓ утворюють іони.

Ці властивості широко використовуються при одержанні медичного зображення. Рентгенівські промені виникають в рентгенівській трубці, яка являє собою скляний балон з великим ступенем вакууму всередині нього. В порожнині трубки знаходяться два електроди: катод та анод. На катоді виникають електрони, які прискорюються в просторі між катодом та анодом.

Прискорені електроди гальмуються на аноді ,в зв'язку з чим виникають рентгенівські промені.

Рентгенівська трубка є складовою частиною апарата, що має штатив, на якому утримується рентгенівська трубка, є місце для розміщення хворого, є трансформатор, який постачає в апарат струм високої та низької напруги, пульт керування, екранно-з'йомний пристрій.

Рентгенологічний метод дослідження - це спосіб вивчення будови і функції різних органів, що базується на кількісному і якісному аналізі пучка рентгенівських променів, які проникли крізь тіло людини.

### **Формування рентгенівського зображення**

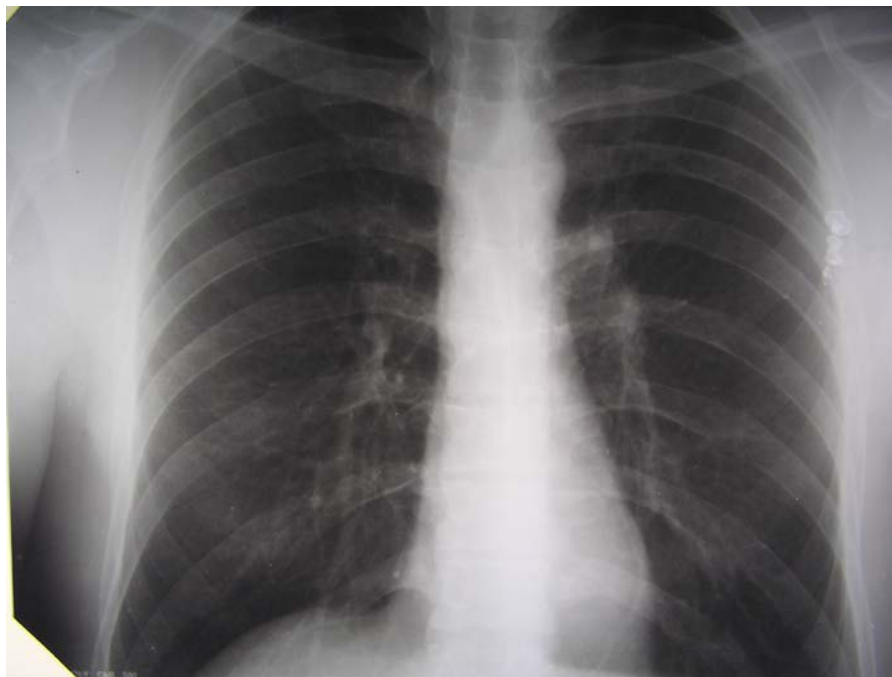
#### **Принципова схема одержання зображення складається з:**

- генерації променів в рентгенівській трубці;
- спрямування променів на хворого;
- одержання невидимого рентгенівського зображення після різного поглинання та розсіювання променів при проходженні крізь об'єкт;
- одержання видимого зображення.

Формування рентгенівського зображення досліджуваного органу ґрунтується на неоднорідному поглинанні випромінювання тканинами, а в результаті - послаблення пучка рентгенівських променів при проходженні їх через тканини різної щільності. Неоднорідне послаблене випромінювання потрапляє на сприймаючу систему - флуоресцентний екран або рентгенівську плівку.

**Принципи природнього та штучного контрастування.** Отримання рентгенівського зображення органів можливе завдяки природньому контрастуванню, якщо органи тіла поглинають рентгенівське випромінювання в різному ступені (значно більше або менше), ніж

навколишні тканини. Кістки в значній мірі поглинають й інтенсивно послаблюють рентгенівські промені, легені, як повітряне середовище, пропускають промені і не послаблюють рентгенівське випромінювання, а м'які тканини займають проміжне положення між щільними та повітряними структурами за ступенем послаблення рентгенівського випромінювання. Завдяки природній контрастності отримують зображення органів грудної клітки та кісткового скелету (мал.5).



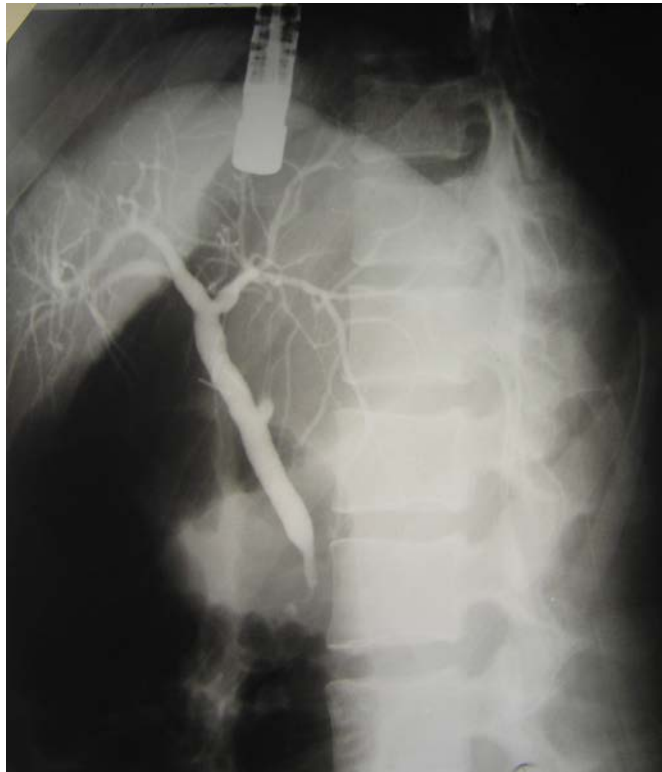
Мал. 5. Рентгенограма органів грудної клітки

Деякі органи і тканини організму поглинають рентгенівське випромінювання практично в однаковій мірі (мал.6).



Мал.6. Рентгенограма органів черевної порожнини і сечовидільної системи.

Для отримання зображення таких органів, які не мають природнього контрастування, застосовують спеціальні методики, які ґрунтуються на штучній зміні прозорості досліджуваних органів і тканин для рентгенівського випромінювання. Це явище називають штучним контрастуванням. Наприклад, органи, які не мають природнього контрастування (органи шлунково-кишкового тракту, жовчовиділення та сечовиділення), потребують штучного контрастування (мал. 7).



Мал.7. Рентгенограма жовчовивідних шляхів після їх штучного контрастування

### **Методики із застосуванням штучного контрастування**

Штучне контрастування проводять шляхом введення в організм людини спеціальних рентгеноконтрастних препаратів, що послаблюють рентгенівське випромінювання більшою мірою, ніж навколишні тканини, або, навпаки, практично не послаблюють рентгенівське випромінювання.

#### **Рентгенконтрастні препарати поділяють на:**

1. Які не послаблюють рентгенівське випромінювання:
  - вуглекислий газ,
  - повітря
2. Які послаблюють рентгенівське випромінювання:
  - не містять йод (водонерозчинні) - сульфат барію,
  - що містять йод:

а) жиророзчинні,

б) водорозчинні:

✓ іонні (урографін, гіпак),

✓ неіонні (ультравіст, візіпак).

Методики зі штучним контрастуванням застосовуються для рентгенівських досліджень органів черевної порожнини, зачеревного простору, серцево-судинної системи (мал.8,9,10,11,12,13,14). В умовах штучного контрастування проводиться дослідження шлунково-кишкового тракту з введенням в порожнини водної суспензії сульфату барію, а в деяких випадках - йодовмісних препаратів. Дослідження органів сечовиділення, жовчовиділення здійснюється парентерально або ретроградним введенням йодовмісних рентгеноконтрастних речовин.

Сучасні йодовмісні рентгеноконтрастні препарати діляться на іонні (урографін, гіпак), що утворюють в рідкому середовищі заряджені сполуки, і неіонні (ультравіст, омніпак, візіпак), електрично нейтральні. Іонні рентгеноконтрастні сполуки мають більш високу осмолярність відносно плазми крові.

Йодовмісні рентгеноконтрастні препарати можуть викликати побічні ефекти за рахунок високої осмолярності та хемотоксичності. Рентгеноконтрастні йодовмісні препарати можуть викликати анафілактоїдні реакції, електролітні порушення і зміни гемодинаміки, порушення агрегації еритроцитів, пошкодження ендотелію судин, порушення функції нирок, тому контрастні дослідження можуть мати протипоказання - алергічна схильність, ниркова недостатність, виражена серцева недостатність, аритмія, порушення функції щитовидної залози, епілепсія.

При виборі йодовмісних контрастних препаратів керуються ступенем їх контрастуючого ефекту та нешкідливістю для пацієнта. Оптимальним є застосування ізоосмолярних плазмі крові неіонних йодовмісних

рентгеноконтрастних речовин, які в порівнянні з іонними менш токсичні, надають менш виражений вазодилатаційний ефект, меншою мірою вивільняють гістамін і деформують еритроцити, інгібують активність холінестерази, тобто дозволяють застосовувати методики контрастування з меншим ризиком ускладнень.



Мал.8. Ангіопульмонограма (контрастування легеневої артерії і її гілок йодовмісним контрастним препаратом).





Мал.9. Бронхограмма (контрастування бронхіального дерева йодовмісним контрастним препаратом).



Мал.10. Аортограма (контрастування аорти йодовмісним контрастним препаратом).



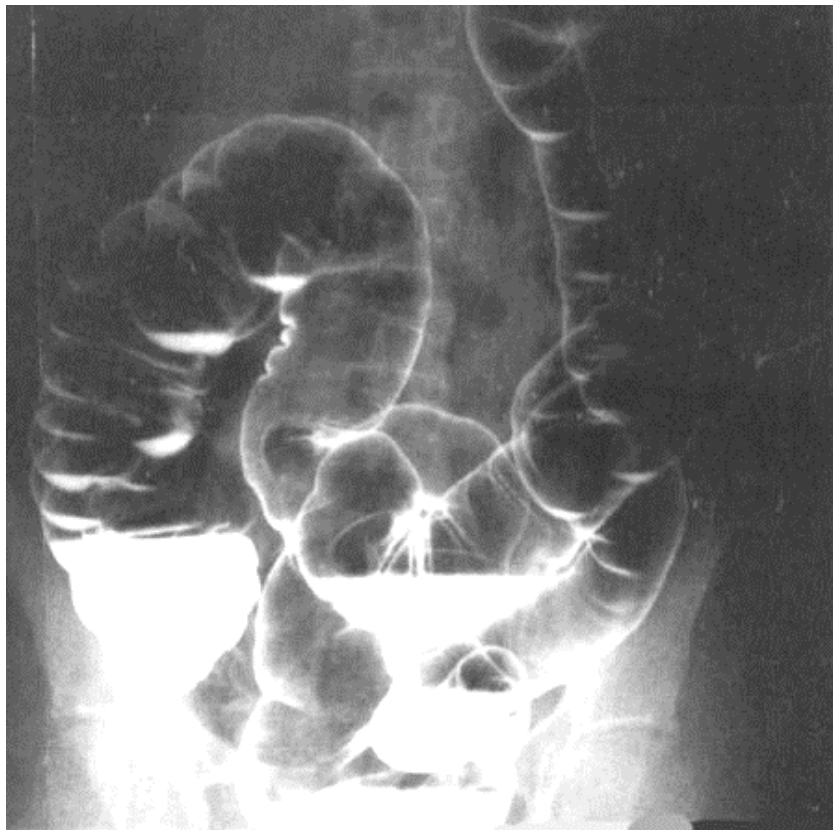
Мал.11. Екскреторна урограмма (контрастування сечовидільної системи йодовмісним контрастним препаратом).



Мал.12. Рентгенограма шлунка (контрастування сульфатом барія).



Мал. 13. Тригограма (контрастування товстої кишки сульфатом барія).



Мал.14. Ригіограма (подвійне контрастування сульфатом барія і повітрям).

### Способи одержання рентгенівського зображення

- **рентгенографія** — на рентгенівській плівці;
- **електрорентгенографія** — на селеновій напівпровідниковій пластинці, потім переноситься на папір;
- **рентгеноскопія** – зображення одержують на флюоресцуючому екрані;
- **рентготелевізійна рентгеноскопія** — зображення на екрані телевізора за допомогою рентгенівського електронно-оптичного перетворювача;
- **дигітальні засоби рентгенографії та рентгеноскопії** — за допомогою електронно-оптичного і аналого-цифрового перетворювача на екрані телевізора або фотоплівці і папері;
- **комп'ютерна томографія** — за допомогою детекторного датчика (сцинтиляційного, газорозрядного, або напівпровідникового) на екрані телевізора або фотоплівці чи папері.

### 2.2. Історія створення комп'ютерної томографії.

На початку ХХ століття були розроблені математичні розрахунки комп'ютерної томографії, однак застосування їх в медичній практиці стало можливим тільки в другій половині ХХ століття. Вперше можливість використання методів реконструкції тривимірної структури об'єкта з безлічі його проєкцій у медицині були запропоновані фізиком-математиком з ПАР Аланом Мак Кормаком. Перебуваючи в Кейптаунській лікарні Хорті Схюр, він був здивований недосконалістю технології дослідження головного мозку. Він справив математичні розрахунки проходження вузькоспрямованого пучка рентгенівських променів через речовину мозку та в 1963 році опублікував статтю про можливість реконструкції зображення головного

мозку. Через 7 років ці матеріали вивчила група інженерів англійської фірми електромозичних інструментів ЕМІ на чолі з Годфрі Хаунсфілдом і зайнялася створенням першого експериментального комп'ютерного томографа для дослідження головного мозку (мал.15).

Сканування першого об'єкта - анатомічного препарату головного мозку, дозволило отримати зображення його структур, а часу було витрачено 9 годин. У 1972 р. була проведена перша комп'ютерна томографія. Першим дослідженим пацієнтом стала жінка, а на першій комп'ютерній томограмі було отримано зображення пухлинного ураження головного мозку.

У тому ж році, 19 квітня, на конгресі Британського радіологічного інституту Годфрі Хаунсфілд і лікар Дж. Амброус виступили з сенсаційним повідомленням: рентгенологія проникає в мозок.

Перші комп'ютерні томографи почали випускати у 1973 році, апарати активно удосконалювалися. У 80-90-их роках ХХ століття дослідження головного мозку на більш нових томографах тривало вже не 9 годин, а кілька хвилин. З бурхливим розвитком комп'ютерної томографії з'явилася можливість дослідження не тільки головного мозку, а будь-якої частини тіла, а на початку ХХІ століття сканування однієї області тіла займало вже кілька секунд. У сучасних комп'ютерних томографів росла роздільна здатність, значно знижувалося променеве навантаження на пацієнта.



Мал.15 Алан Кормак



Годфри Хаунсфілд

У 1979 році за розробку методу рентгенівської комп'ютерної томографії фізику-математику Алану Мак Кормаку та інженеру Годфрі Хаунсфілду була присуджена Нобелівська премія у галузі медицини.

**2.3. Фізичні основи рентгенівської КТ.** У комп'ютерній томографії використовують рентгенівські промені, тому в основі рентгенівської КТ лежить здатність різних органів та тканин людини нерівномірно послаблювати рентгенівське випромінювання. У процесі проходження крізь тканини рентгенівські промені ослаблюються, частково із-за поглинання енергії, частково через розсіювання.

Ослаблення можна описати слідуючим рівнянням:  $I=I_0e^{-\mu d}$ ,

де  $I$  - інтенсивність випромінювання, що було пропущено (випромінювання на виході із тканини),  $I_0$  - інтенсивність випромінювання, що падає (на вході в тканини),  $\mu$  - так званий коефіцієнт повного лінійного ослаблення для тканини,  $d$  - це відстань, що пройшло випромінюванням крізь тканину (товщина тканини). Коефіцієнт ослаблення  $\mu$  обумовлений атомним номером та електронною щільністю тканини. Чим вище атомне число та щільність

електронів, тим вище коефіцієнт ослаблення. Таким чином, атомне число та щільність електронів – це два параметри, що зумовлюють якості тканини по ослабленню рентгенівського випромінювання. Необхідно враховувати, що коефіцієнт ослаблення залежить також від енергії рентгенівських променів.

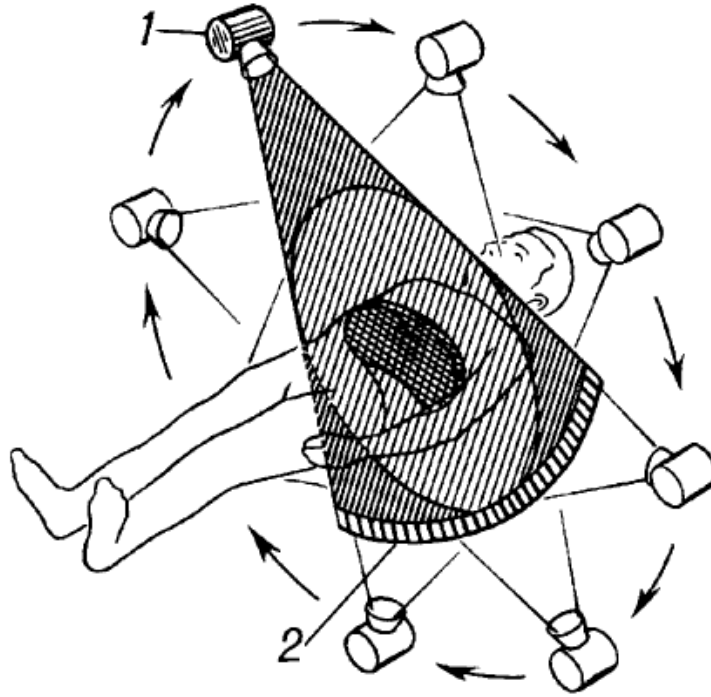
Отже, фізичні основи КТ та рентгенологічних методик ідентичні, а відрізняються ці методи за принципом отримання та обробки діагностичної інформації.



Мал.16. Комп'ютерний томограф.

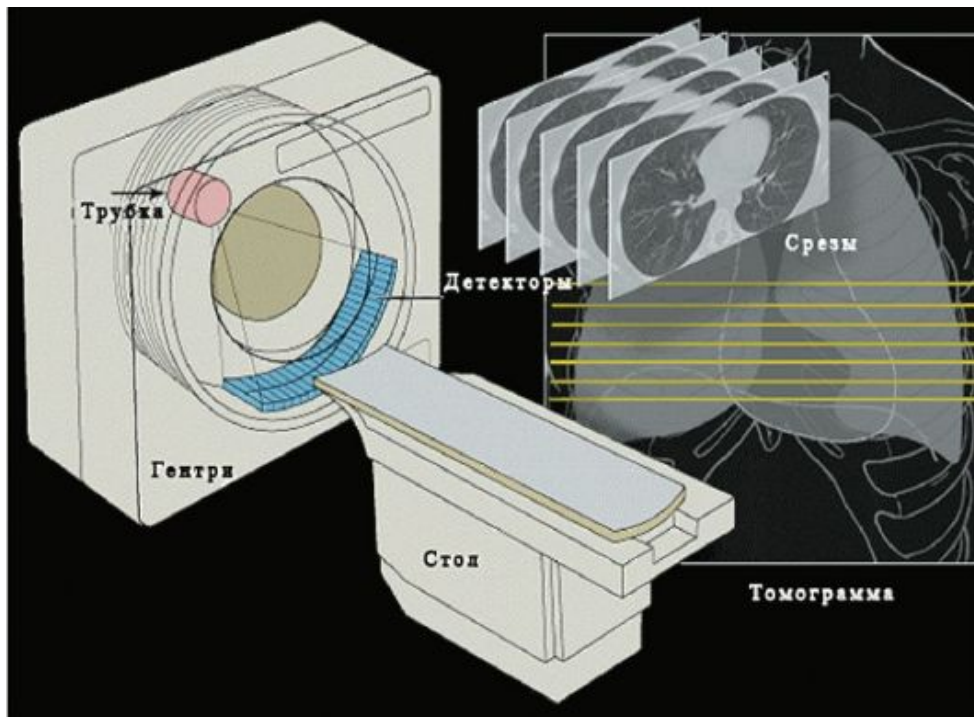
Основою комп'ютерного томографа є рентгенівська трубка, але вона випускає віялоподібний пучок рентгенівського випромінювання, спрямований перпендикулярно довгій осі тіла досліджуваної людини. Рентгенівська трубка обертається навколо пацієнта і повертається до тіла хворого під різними кутами, у загальній складності проходячи  $360^\circ$  (мал.16,17).





Мал.17. Схема роботи комп'ютерного томографа.

Рентгенівські промені, проходячи через досліджуваний об'єкт, нерівномірно послаблюються і реєструються системою детекторів. Детектори реєструють ступінь послаблення рентгенівського випромінювання і перетворюють рентгенівське випромінювання в електричні сигнали, які прямо пропорційні енергії рентгенівських фотонів. У пам'яті комп'ютера виявляються зафіксованими всі сигнали від всіх детекторів, на підставі яких внаслідок постпроцесорної обробки будується площинне зображення аксіального зрізу досліджуваного органу - комп'ютерна томограма (мал.18).

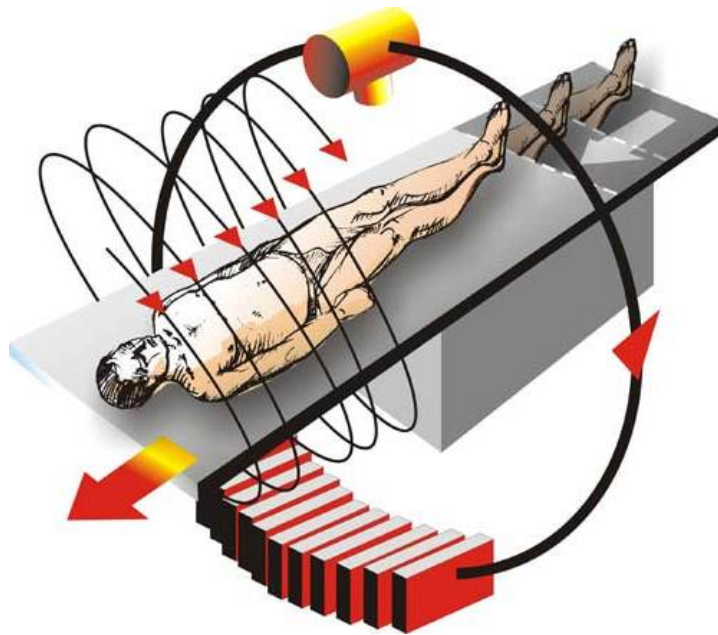


Мал.18. Схематичне зображення комп'ютерного томографа.

Комп'ютерна томограма є в кінцевому підсумку серією аксіальних томографічних зрізів досліджуваного органу та області тіла по типу «пироговських», які і підлягають діагностичного аналізу.

Отримана в результаті КТ картина абсолютно об'єктивна, її можливо оцінювати і вивчати на моніторі приладу, фіксувати на папері або рентгенівській плівці, проводити порівняння і зіставлення протягом якогось періоду часу, якщо є складний діагностичний випадок.

В сучасних спіральних комп'ютерних томографах обертання рентгенівської трубки і переміщення пацієнта всередині кругової рами, званої гентрі, відбуваються одночасно і безперервно. Результатом цього є спіралеподібний рух віялоподібного рентгенівського променя крізь тіло пацієнта (мал. 19).



Мал. 19. Схема принципу роботи спірального комп'ютерного томографа

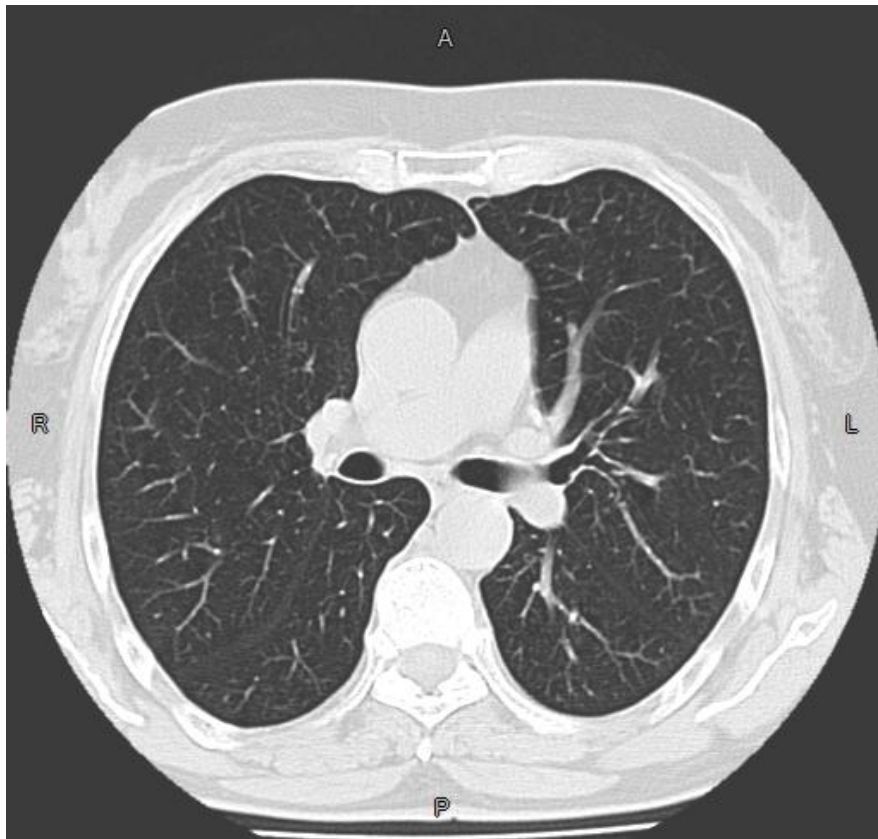
Завдяки цьому зменшується час дослідження, знижується променеве навантаження, з'являється можливість отримання реконструктивних зображень в різних зрізах: фронтальних і сагітальних, а також проведення сканування з використанням контрастних методик. Новітні мультислайсні (мультизрізові) комп'ютерні томографи, в яких за одне обертання рентгенівської трубки отримують до 40 зрізів, дозволяють реконструювати високоякісні тривимірні зображення.

## 2.4. Переваги рентгенівської комп'ютерної томографії

### Переваги рентгенівської КТ порівняно з рентгенографією

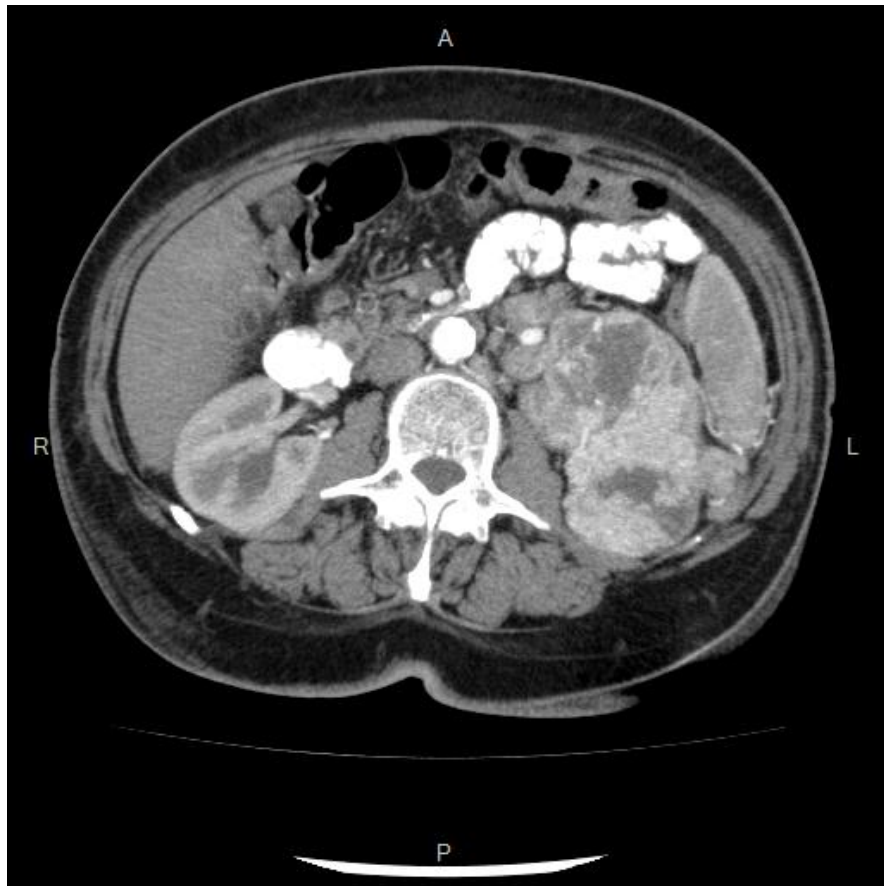
КТ у порівнянні з класичними рентгенографічними методами має ряд переваг, основними з яких є:

- Відсутність сумарного ефекту: КТ дозволяє отримувати чітке пошарове зображення об'єкта завдяки тому, що режим дослідження відбувається з кутом повороту рентгенівської трубки щодо досліджуваного об'єкта на  $360^\circ$  (мал.20).



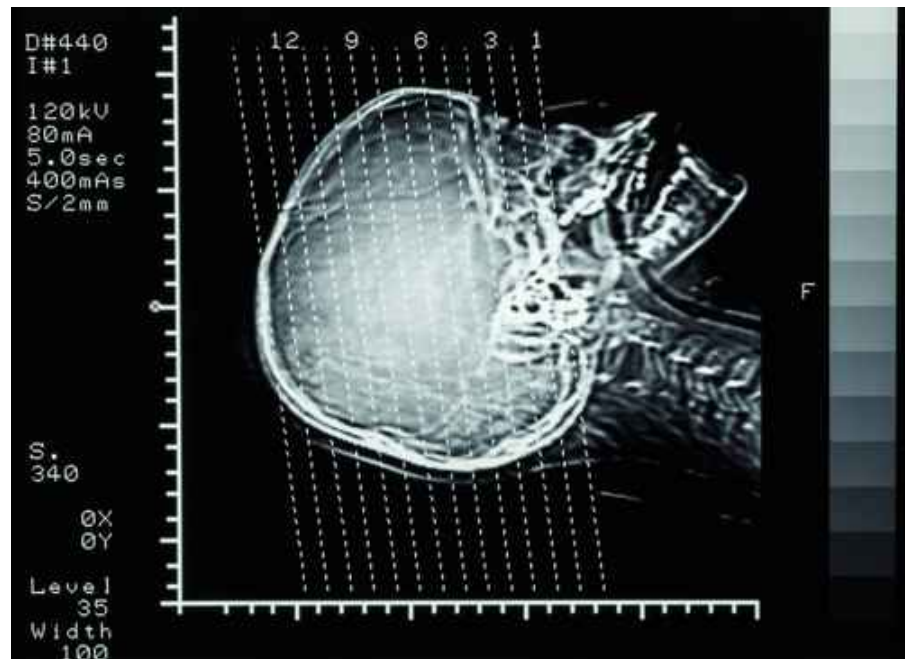
Мал. 20. Аксіальне пошарове зображення органів грудної порожнини.

- Дозволяє судити не тільки про стан органу, що досліджується, але і про взаємовідношення патологічного процесу з органами та тканинами, які розташовані поруч, наприклад, інвазії пухлин в сусідні органи, наявність інших патологічних змін (мал.21).



Мал.21. Комп'ютерна томограма (пухлина лівої нирки з інвазією).

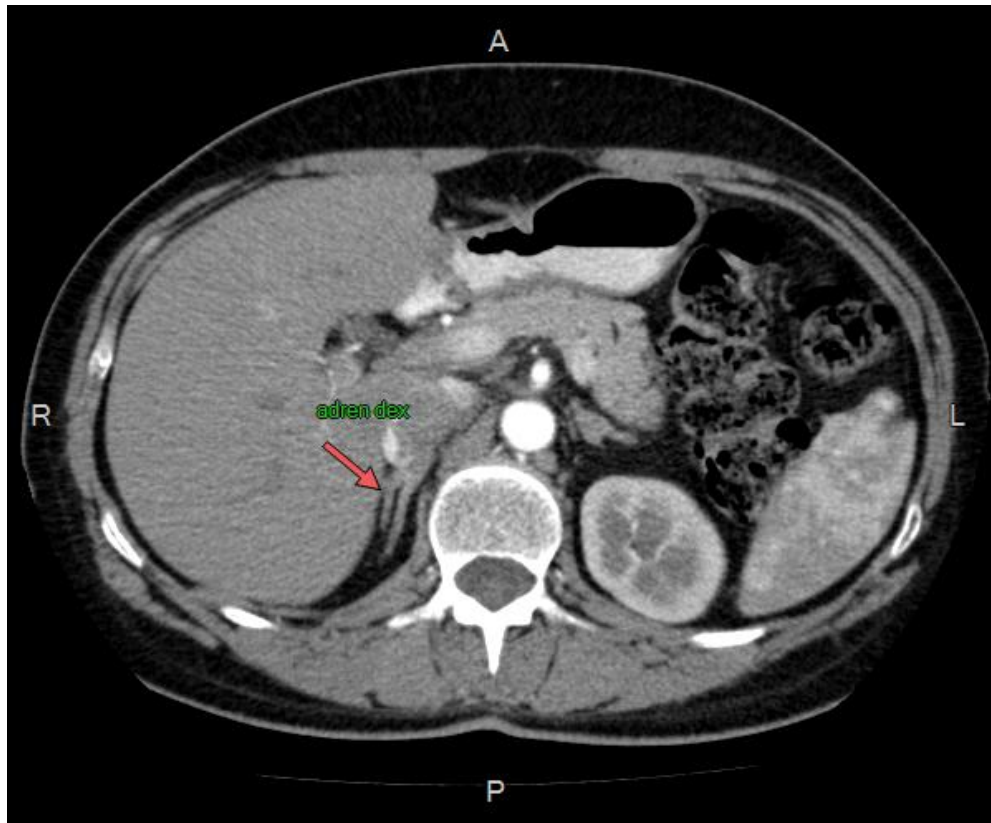
- Дозволяє отримувати топограми, тобто поздовжнє зображення досліджуваної області подібне рентгенівському знімку шляхом переміщення хворого повздовж нерухої трубки (мал.22).



Мал.22. Топограма.

Топограми використовують для встановлення довжини патологічного вогнища і визначення кількості зрізів.

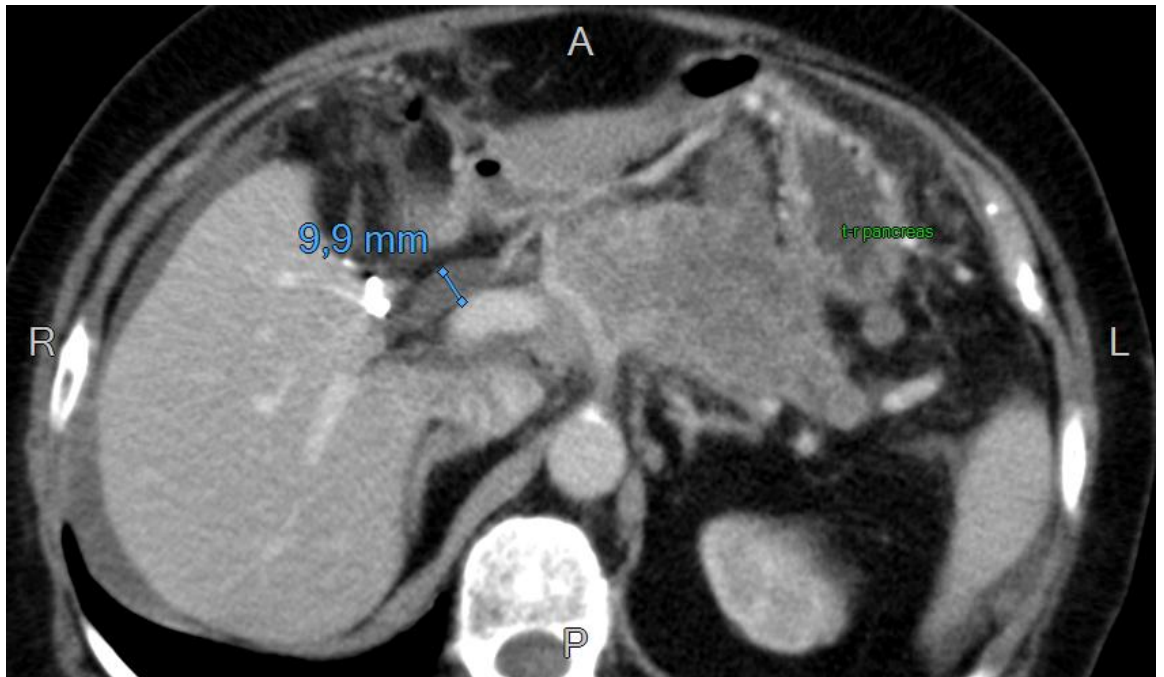
- Висока роздільна здатність - можливість розрізняти більшу кількість деталей в зображенні досліджуваного об'єкта в порівнянні з рентгенографією. КТ характеризується високою чутливістю, що дозволяє віддиференціювати окремі органи і тканини один від одного по щільності у межах 1-2%, а на томографах 3-4 генерації - до 0,5%. Завдяки високій роздільній здатності і відсутності сумацийного ефекту можна візуалізувати структури, які проекційно нашаровуються на зображення інших органів і практично не дають зображення на рутинних рентгенограмах (головний мозок, підшлункова залоза, лімфатичні вузли) (мал.23,24,25). Для підвищення роздільної здатності КТ можуть застосовуватися методики контрастного підсилення зображення з використанням водорозчинних неіонних рентгеноконтрастних препаратів (ультравіст, омніпак, візіпак тощо), які вводять per os або парентерально.



Мал.23. Комп'ютерна томограма правого наднирника.



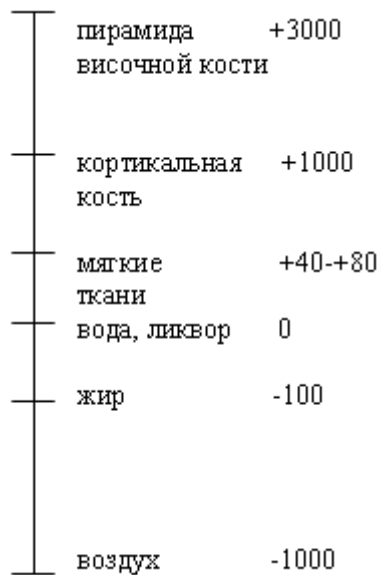
Мал.24. Комп'ютерна томограма – пухлина підшлункової залози.



Мал. 25. Комп'ютерна томограма дилатація холедоху при пухлині підшлункової залози.

•Можливість кількісно визначати рентгенівську щільність досліджуваного об'єкта: це дозволяє доповнювати візуальну оцінку комп'ютерно-томографічної картини аналізом щільності візуалізованих структур (мал.26). Технологія обробки сигналів від детекторів комп'ютерного томографа дозволяє точно виміряти послаблення рентгенівського випромінювання різними ділянками тканини в числовому значенні за умовною лінійною шкалою від -1000 до +3000. Це послаблення вимірюється в одиницях Хаунсфілда. За значення «0» за шкалою Хаунсфілда (од.Н) приймається послаблення рентгенівського випромінювання водою, а за -1000 - повітрям.





Мал.26. Шкала Хаунсфілда.

Оцінка кількісних значень, виражених в одиницях Хаунсфілда, дозволяє в ряді клінічних ситуацій визначати природу виявлених змін і проводити диференційну діагностику між різними видами патологій, тому що дає можливість розрізнити, наприклад, м'які тканини, рідинні структури, жирову тканину тощо.

- Можливість здійснення реконструкції первинних зображень - отримання зрізів у фронтальній, сагітальній та інших необхідних площинах, а також формування тривимірних (об'ємних) зображень - дозволяє визначати точну топографію і взаєморозташування органів і патологічних структур (мал.27,28,29).



Мал.27. Комп'ютерна томограма – фронтальна реконструкція.



Мал.28. Комп'ютерна томограма – сагітальна реконструкція.



Мал.29. Комп'ютерна томограма – тривимірна реконструкція.

- Можливість проведення контрастного пофазного посилення зображень та неінвазивної ангіографії. Рентгеноконтрастні (водорозчинні) речовини вводять парентерально за допомогою звичайного шприца або застосовують болюсне введення. При болюсному способі введення контрастного препарату для забезпечення ефективного пофазного контрастування досліджуваного об'єкта застосовуються автоматичні шприци - інжектори, що забезпечують швидке введення відносно великого об'єму рентгеноконтрастної речовини (близько 100 мл) зі строго заданою швидкістю (3-4 мл/с).

## 2.5. Штучне контрастування в комп'ютерній томографії

**КТ-ангіографія** - дослідження магістральних судин з попереднім внутрішньовенним контрастуванням, яке проводиться за допомогою катетеризації ліктьової вени та болюсного введення контрастної речовини зі швидкістю 3-4 мл/с за допомогою автоматичного шприца (мал. 30,31,32).



Мал. 30. КТ-ангіограма черевної аорти та її гілок (фронтальна реконструкція).



Мал. 31. КТ-ангіограма ниркових артерій (фронтальна реконструкція).

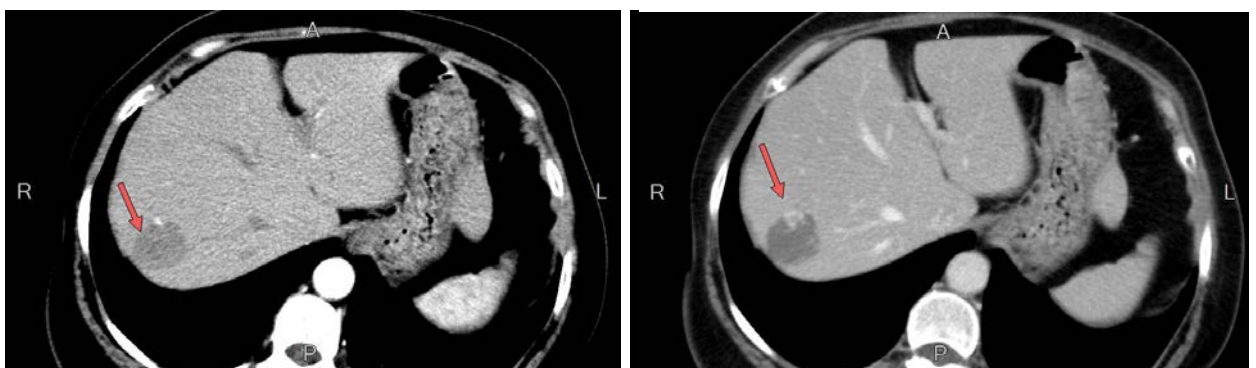


Мал. 32. КТ-ангіограми нижніх кінцівок у хворого з атеросклеротичним ураженням артерій.

**Пофазне контрастування** - пофазне вивчення досліджуваного органу після попереднього болюсного введення в судинне русло пацієнта рентгеноконтрастної речовини. Внутрішньовенне болюсне (швидке й у великих кількостях) введення рентгеноконтрастного препарату необхідно для створення його високої концентрації на певній ділянці судинного русла.

Дослідження проводиться у три фази - артеріальну (максимальне контрастування артерій), паренхіматозну (контрастування паренхіми органів) та венозну (максимальне контрастування вен) залежно від часу проходження контрастом відповідної ланки судинної мережі (мал. 33). У кожному клінічному випадку необхідність отримання зображення в певну фазу визначається лікарем рентгенологом в залежності від поставлених перед ним завдань.

Ефект контрастного посилення ґрунтується на різному кровопостачанні нормальної і патологічно зміненої тканини, що обумовлює різний ступінь їх контрастування. Оскільки різні патологічні утворення по-різному контрастуються в залежності від фази дослідження, можна судити про їх природу. Пофазне контрастування необхідно для диференціальної діагностики злоякісних та доброякісних новоутворень.



Мал. 33. Комп'ютерні томограми з контрастуванням: гемангіома печінки в артеріальну фазу (візуалізація артерії) і паренхіматозну фазу (накопичення контрастної речовини) у гемангіомі .

### **Цілі пофазного контрастування:**

1. покращує візуалізацію патологічного утворення;
2. для диференційної діагностики різних патологічних процесів;
3. для оцінки взаємин патологічного вогнища та прилеглих судин;
4. для уточнення поширення процесу.

## **2.6. Зображення, які отримують при КТ**

За допомогою будь-яких методів медичної візуалізації отримують діагностичні променеві зображення:

#### ***Аналогові:***

Рентгенограми

Сцинтиграми

Термограми

#### ***Цифрові:***

Одержані за допомогою комп'ютера

Аналогові зображення несуть інформацію безперервного характеру (мал.34,35). Аналогові рентгеновські зображення отримують за допомогою методів класичної рентгенодіагностики (рентгенографії, рентгеноскопії, флюорографії) на флуоресціюючих екранах або на спеціальній рентгенографічній плівці - рентгенограмі.



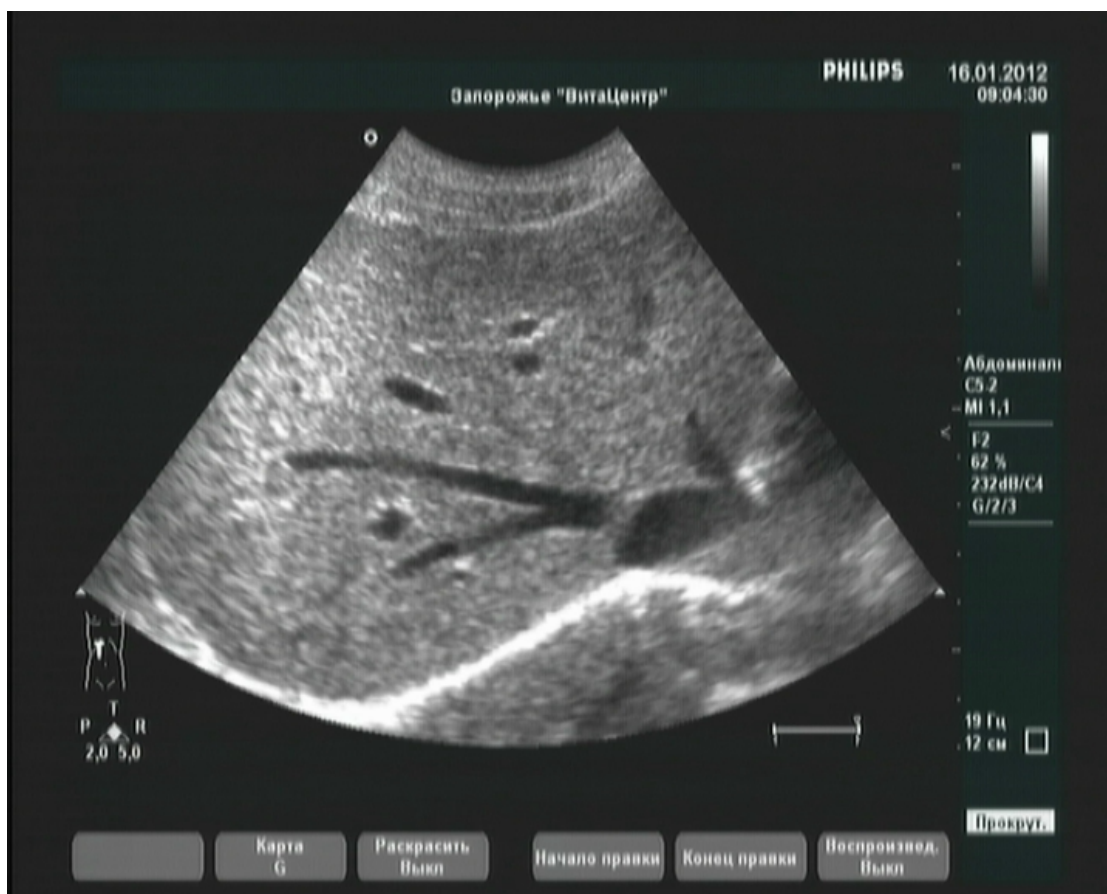
Мал.34. Аналогова рентгенограма – екскреторна урограма (фото рентгенівської плівки на негатоскопі).





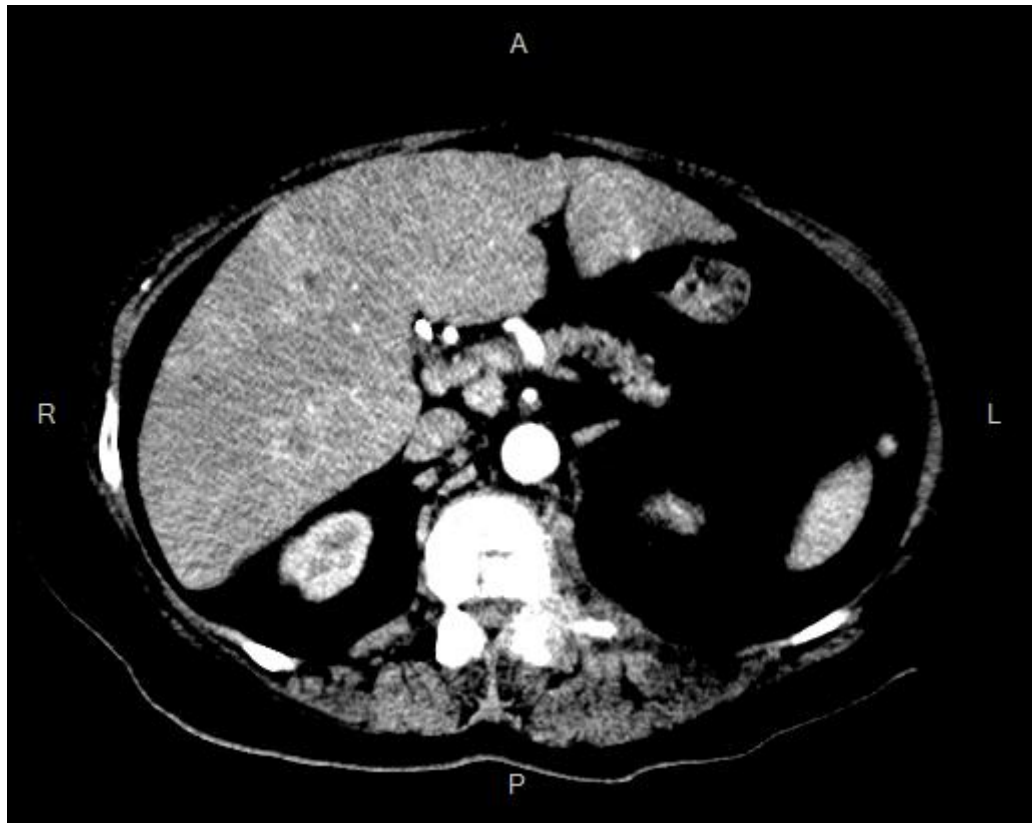
Мал.35. Аналогова сонограма печінки (фото сонограми, зробленої на термопапірі).

Цифрове зображення отримують за допомогою комп'ютера. Ці зображення одержані при комп'ютерній та магнітно-резонансній томографії, ультразвуковому скануванні, цифровій рентгенографії (мал.36,37,38).



Мал.36. Цифрова сонограма печінки.

До них відносяться дигітальна рентгенографія та рентгеноскопія, флюорографія та відеозапис за допомогою електронно-оптичного перетворювача.



Мал.37. Цифрова комп'ютерна томограма (метастази в печінці).



Мал.38. Цифрова ангиограма ниркових артерій.

При проходженні крізь тіло людини пучок рентгенівських фотонів послаблюється в результаті поглинання його тканинами. При рівній товщині

шару тканини, крізь який вони проходять, сильніше всього фотони поглинаються в кістковій тканині.

Вдвічі слабше вони затримуються в паренхіматозних органах, м'язах, різних середовищах організму.

Менше поглинаються рентгенівські промені в жировій клітковині і дуже мало в газах легень, шлунка, кишечника.

Чим сильніше поглинаються рентгенівські промені в досліджувальній тканині, тим інтенсивніша тінь, яку вона утворює на рентгенівському флюоресцюючому екрані при проведенні рентгеноскопії, і тим менше його світіння.

Зображення кісток, серця на флюоресцюючому екрані — чорне, легень — біле. Таке зображення отримало назву — прямого, позитивного.

### **Рентгенограми, томограми:**

#### ***1. Оглядові***

Вся анатомічна область –  
голова, груди, живіт (мал.39)

#### ***2. Прицільні***

Зображення невеликої частини  
анатомічної області, яка найбільш  
цікавить лікаря (мал.40)



Мал. 39. Оглядова рентгенограма органів грудної та черевної порожнини



Мал. 40. Прицільна рентгенограма частини ободової кишки

Дозволяюча здатність рентгенографії більша ніж рентгеноскопії. При рентгенографії значно менше опромінення пацієнтів.

На рентгенограмах, комп'ютерних томограмах формується площинне негативне зображення у чорно-білих тонах. При аналізі рентгенограм необхідно враховувати наявність сумацийного ефекту. Сумаційний ефект в променевій діагностиці полягає в нашаровуванні зображень одних органів і тканин на інші, ускладнює об'єктивну і якісну діагностику патологічних процесів. У рентгенодіагностиці відбувається нашаровування різних органів, розташованих уздовж проходження пучка рентгенівського випромінювання. Наприклад, на рентгенограмі органів грудної клітки у прямій проекції внаслідок сумацийного ефекту відбувається нашаровування тіней хребтового стовпа, серця, великих судин і грудини, зображення передніх відрізків ребер місцями накладається на зображення задніх. У результаті цього точно локалізувати певні патологічні зміни дуже складно (мал. 41).



Мал. 41. Рентгенограма органів грудної порожнини в прямій проекції.

Щоб уникнути ускладнень, викликаних ефектом нашаровування, рентгенограми роблять в двох взаємно перпендикулярних проекціях (наприклад, рентгенографію органів грудної клітки виконують у прямій та

бічній проекціях) або вдаються до використання томографічних методик - лінійної або комп'ютерної томографії (мал. 42).

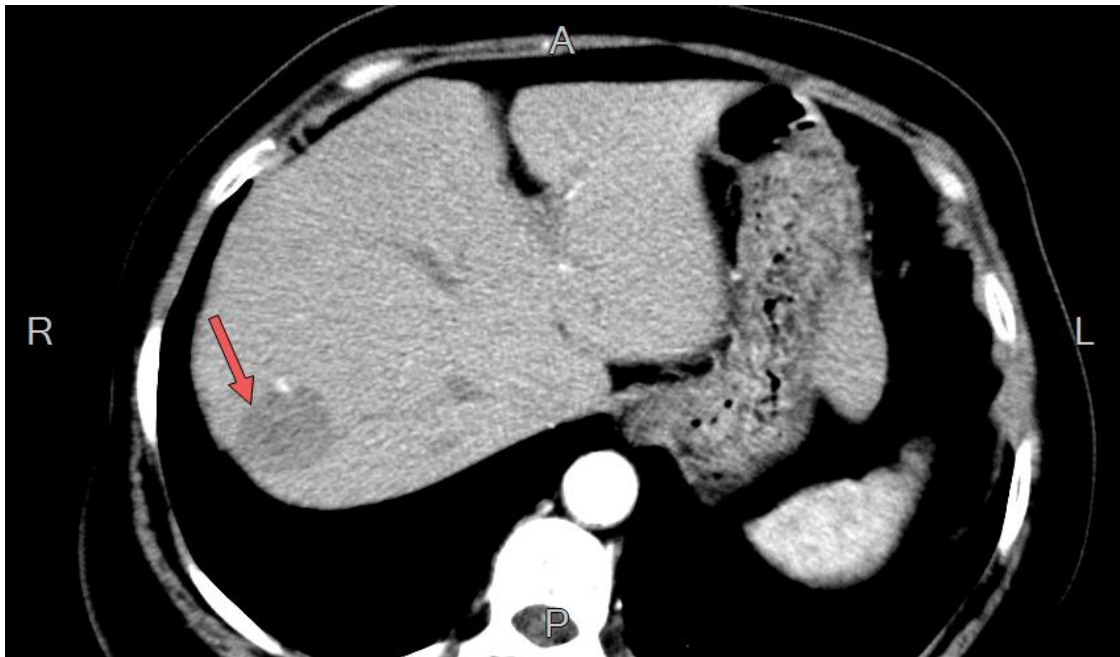


Мал.42. Рентгенограма органів грудної порожнини в бічній проекції

## 2.7. Основні терміни, які використовуються при КТ

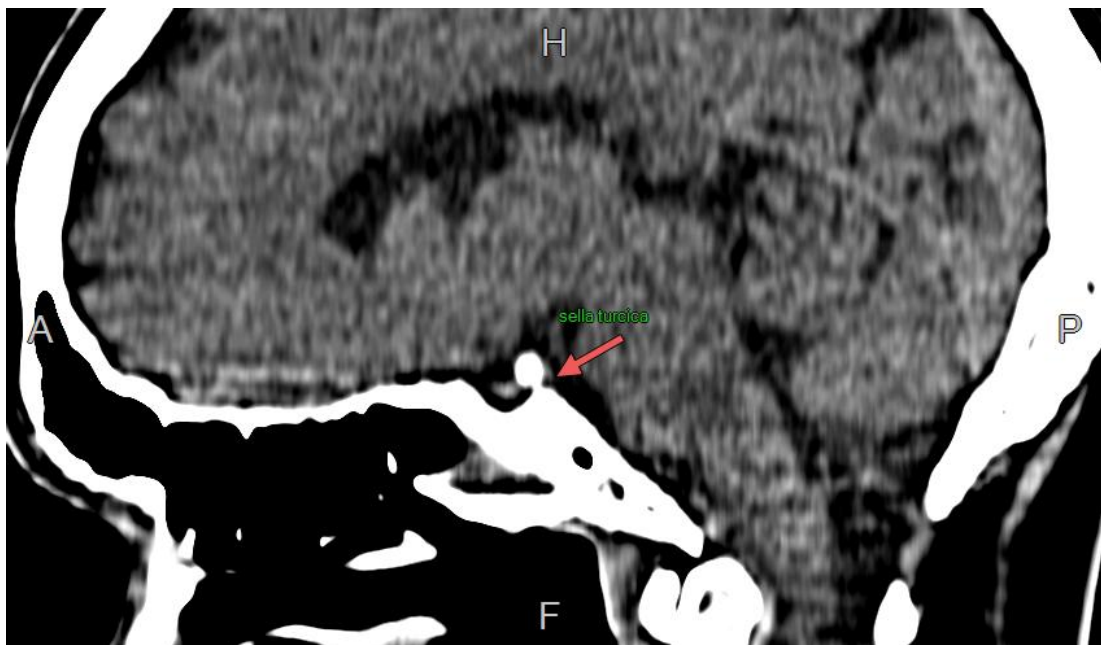
Для характеристики комп'ютерно-томографічних зображень в залежності від величини рентгенівської щільності морфологічного субстрату, що виявляється, використовуються такі терміни:

- «ізоденсне» - зображення однакової щільності з оточуючими тканинами (утворення однакової щільності з паренхіматозними органами, внутрішньомозковий крововилив в підгострий період), на томограмі - різні відтінки сірого (мал.43).



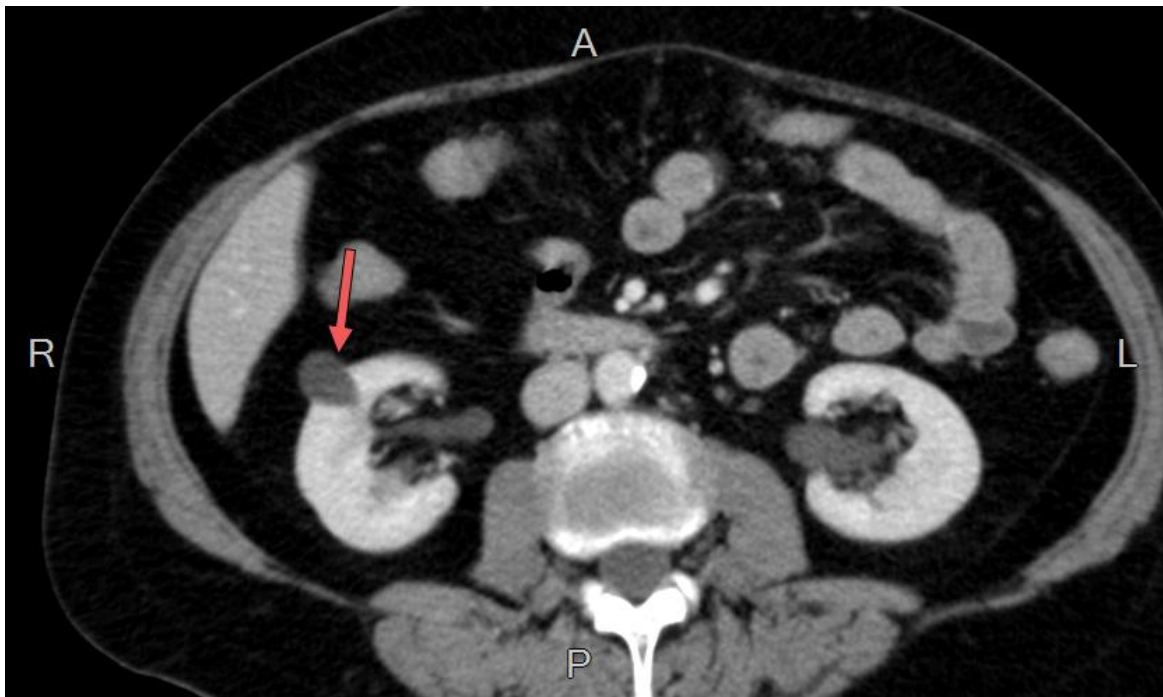
Мал.43. Гіподенсний утвір в паренхімі печінки з наявним лакунарним скупченням контрастної речовини обумовлений гемангіомою.

- «гіперденсне» - високощільні структури: кров (крововилив в гострий період), кістка, рентгеноконтрастна речовина, на томограмі мають білий колір (мал. 44).



Мал.44. dorsum sellae

- «гіподенсне» - низькощільні структури - ліквор, гази, кістозний рідинний вміст, рідина як прояв набряку, мають чорний колір на томограмі (мал. 45).



Мал.45. субкапсульна кіста правої нирки



## РОЗДІЛ 3. МАГНІТНО-РЕЗОНАНСНА ТОМОГРАФІЯ

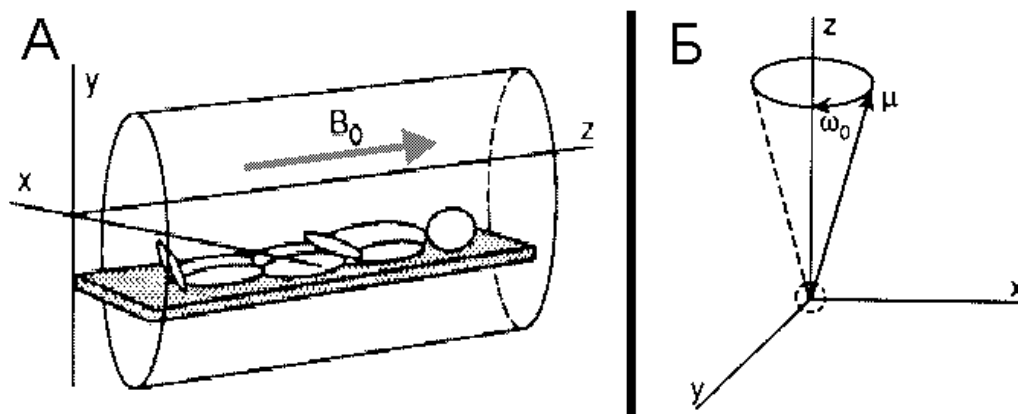
Магнітно-резонансна томографія - один з наймолодших методів променевої діагностики. МРТ - метод медичної візуалізації, який ґрунтується на фізичному явищі ядерно-магнітного резонансу (ЯМР). Після включення ЯМР в число методів медичної томографії слово "ядерний" було виключено з асоціації з радіоактивністю та променевим навантаженням при проведенні досліджень, оскільки воно в масовій свідомості пов'язане з ядерною зброєю або ядерними електростанціями, з якими ЯМР не має нічого спільного, тому в наші дні використовується термін "магнітно-резонансна томографія". МРТ дозволяє отримувати томографічні зрізи в різних площинах: аксіальній, сагітальній, фронтальній та інших.

**3.1. Історія створення МРТ** почалася з відкриття явища ядерного магнітного резонансу (ЯМР) для рідин та твердих тіл у 1946 р. дослідниками Стендфордського та Гарвардського університетів, які показали, що деякі ядра, що знаходяться в магнітному полі, індують електромагнітний сигнал під впливом радіочастотних імпульсів. Згодом Фелікс Блох, який входив до числа першовідкривачів ЯМР, висловив даний феномен у вигляді математичного рівняння, що отримало його ім'я. За відкриття ЯМР американські вчені Фелікс Блох і Едвард Пурсель отримали в 1952 р. Нобелівську премію з фізики.

Спочатку явище ЯМР знайшло практичне застосування в методі ЯМР-спектроскопії, який використовували для спектрального аналізу біологічних структур. Цей метод дозволяв точно визначати хімічний склад аналізованого зразка. Потім, у 1973 р., американський вчений Пол Лотербур, використовуючи явище ЯМР, вперше отримав зображення двох капілярних трубочок, заповнених рідиною, чим заклав основу магнітно-резонансної томографії. На отримання цього зображення витрачено 4 год 45 хв.. Близько

8 років знадобилося для появи в клініці перших МР-томографів для дослідження всього тіла людини. Перші МР-томограми внутрішніх органів живої людини були продемонстровані у 1982 р. на Міжнародному конгресі радіологів у Парижі. Отримання МР-зображень на перших томографах вимагало дуже тривалого часу. Британський вчений доктор Пітер Менсфілд розробив спеціальні математичні алгоритми обробки одержуваних від досліджуваного об'єкта магнітно-резонансних сигналів, що дозволило значно скоротити час дослідження. У 2003 р. за винахід методу МРТ британцеві серу Пітеру Менсфілду і американцеві Полу Лотербуру була присуджена Нобелівська премія в галузі медицини.

**3.2. Фізичні основи МРТ і формування МР-зображення.** В основі МРТ лежить явище ядерно-магнітного резонансу. ЯМР - фізичне явище, що полягає в здатності ядер деяких хімічних елементів, поміщених в постійне магнітне поле, поглинати енергію електромагнітних хвиль на певній частоті, яка називається резонансною (мал. 46).



Мал.46. Схема формування МР-зображення.

Основними компонентами магнітно-резонансного томографа є:

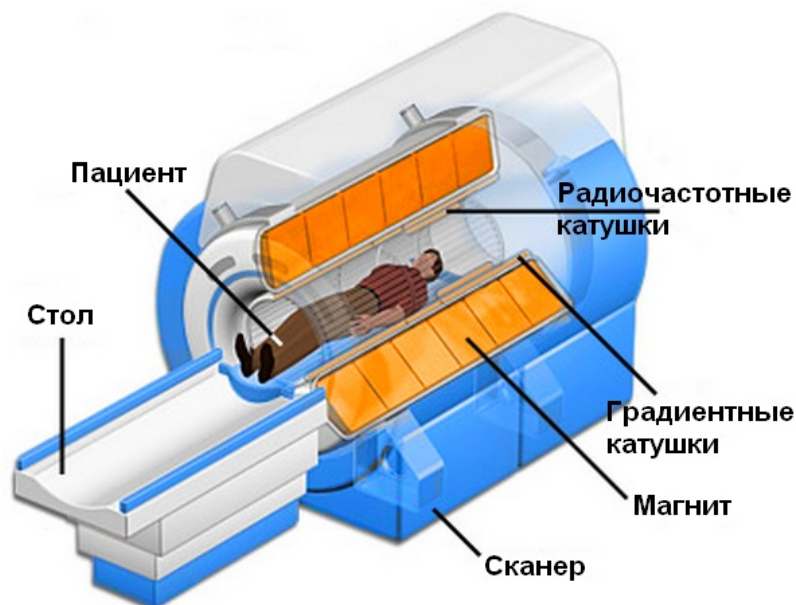
- магніт у формі кільця, що створює постійне магнітне поле високої напруженості (мал. 47). Цей магніт розміщується в рамі, в

котру, як у тунель, розташовується пацієнт під час дослідження (мал. 48);

- радіочастотна котушка, яка генерує і приймає радіочастотні імпульси;

- блок обробки інформації (комп'ютер).

- Організм людини на 4/5 складається з води та приблизно 90% речовини становить водень. В центрі атома водню - протон, а на периферії - електрон. Електрон постійно обертається навколо протона, але одночасно з цим протон обертається навколо власної осі, як дзига, утворюючи конус. Частота обертання протона прямо пропорційна напруженості магнітного поля та називається частотою Лармора. Рух зарядженої частинки формує магнітне поле, вектор якого збігається з напрямком конуса обертання, тобто кожен протон можна представити у вигляді маленького магніта, який має своє власне магнітне поле і полюси - північний та південний. Поза сильним магнітним полем ці маленькі магніти орієнтовані хаотично.



Мал.47. Схема магнітно-резонансного томографа.

Коли тіло пацієнта розміщують всередині магнітного поля МР-томографа, намагніченість всіх протонів орієнтується паралельно напрямку зовнішнього магнітного поля. При цьому велика частина векторів намагніченості протонів орієнтована в тому ж напрямку, що й зовнішнє магнітне поле (тобто в бік «півночі»), а менша частина - в протилежному (в бік «півдня»), тому в організмі пацієнта створюється сумарний магнітний момент, що збігається з напрямком зовнішнього магнітного поля. Його величина залежить, в першу чергу, від щільності протонів (proton density або PD) в різних органах і тканинах. Однак зображення досліджуваного органу визначається не тільки PD в ньому, а й тим, в яких хімічних сполуках знаходиться водень, тому, наприклад, вода та жирова тканина, що містять велику кількість хімічно пов'язаного водню, генерують неоднакові МР-сигнали після зникнення ЯМР.

МР-сигнал являє собою радіохвилю, що генерується протонами після зникнення явища ЯМР протягом певного періоду - часу релаксації. Ця радіохвиля вловлюється радіочастотною котушкою, в якій внаслідок цього індуксується електричний струм, амплітуда якого прямо пропорційна інтенсивності МР-сигналу. Але МР-сигнали, що випускаються протонами різних тканин (наприклад, рідинними утвореннями та жировою тканиною), відрізняються один від одного ще й своєю тривалістю. Це відбувається тому, що в процесі релаксації хімічно сильно пов'язані протони (як у жировій тканині) віддають енергію, що випромінюється радіохвилями, набагато швидше, ніж менш пов'язані (як у воді). Отже, час релаксації води набагато більше, ніж у жиру.

Явище релаксації включає в себе два процеси, що протікають паралельно: повернення вектора намагніченості, створюваного обертанням протонів, у вихідний (до виникнення ЯМР) стан; дефазування. Відповідно до цього, перший процес отримав назву T1-релаксації, другий – T2-релаксації. Час T1-релаксації - це час, необхідний для досягнення 63% від величини

вектора намагніченості протонів, що існує до виникнення явища ЯМР. Час T2-релаксації - це час, необхідний для досягнення стану, коли в процесі дефазування зберігається тільки 37% синхронізованих по фазі протонів від початкового значення.

Відповідно, на інтенсивність МР-сигналу впливає і PD, і час T1 та T2-релаксації різних органів та тканин. МР-сигнал, отриманий через певний час після зникнення ЯМР від органів та тканин, які мають різні часи релаксації T1 та T2, буде відрізнятися за інтенсивністю.



Мал. 48. Магнітно-резонансний томограф.

### **3.3. Магнітно-резонансна томографія зі штучним контрастуванням**

**МРТ зі штучним контрастуванням.** Для поліпшення роздільної здатності МРТ-дослідження застосовують методики контрастного посилення зображення: внутрішньовенно вводять речовини, що змінюють магнітні властивості тканин (мал. 49, 50). МР-контрастні речовини змінюють час T1- та T2-релаксації, подовжують або скорочують його.



Мал. 49. МР-ангіограма судин головного мозку.



Мал. 50. МР-ангіограма черевної аорти і її гілок.

### **Групи контрастних речовин для МРТ:**

• парамагнетики - сполуки гадолінію, підвищують інтенсивність МР-сигналу за рахунок скорочення часу T1-релаксації, васкуляризовані утворення стають гіперінтенсивними на T1-зважених зображеннях, при виконанні МР-ангіографії покращують візуалізацію дрібних артерій та вен.

• супермагнетики - сполуки заліза, знижують інтенсивність МР-сигналу за рахунок укорочення часу T2-релаксації, васкуляризовані утворення стають гіпоінтенсивними на T2-зважених зображеннях.

### **3.4. Переваги і недоліки магнітно-резонансної томографії**

#### **Переваги МРТ:**

1. Відсутність променевого навантаження, що дозволяє використовувати його в різних вікових групах і в різні періоди життя людини, а також проводити багаторазові повторні дослідження при необхідності об'єктивного контролю проходження патологічного процесу й ефективності лікування.

2. Отримання висококонтрастного зображення м'якотканинних органів і структур в будь-якій площині.

3. Можливість виконання безконтрастної ангіографії, урографії, холангіопанкреатикографії, мієлографії.

4. Неінвазивне визначення вмісту різних метаболітів *in vivo* за допомогою водневої та фосфорної МР-спектроскопії.

5. Можливість виконання функціональних досліджень головного мозку для візуалізації чутливих і рухових центрів після їх відповідної стимуляції.

### **Протипоказання до МРТ:**

**Абсолютні:** наявність в тілі пацієнта металевих і феромагнітних структур (металеві чужорідні тіла, кардіостимулятори, імплантовані автоматичні дозатори лікарських засобів, наприклад - інсулінові помпи, штучні клапани серця, сталеві імпланти, штучні суглоби, апарати металоостеосинтезу, слухові апарати).

**Відносні:** перший триместр вагітності, клаустрофобія, неусунений судомний синдром, рухова активність пацієнта.

### **Недоліки МРТ:**

1. Висока чутливість до рухових артефактів.
2. Обмеження виконання дослідження у пацієнтів, що потребують апаратної підтримки життєво важливих функцій організму (кардіостимулятори, ШВЛ, імплантовані інсулінові помпи та ін.).
3. Погана візуалізація кісткових структур через низький вміст води.

Показання до застосування цього методу постійно поширюються. Якщо на перших порах основне клінічне застосування МРТ обмежувалося клінікою неврологічних хвороб, то в теперішній час дослідження проводяться пацієнтам з захворюваннями опорно-рухового апарату, серця і великих судин, органів малого тазу, молочних залоз, лор - органів, органів черевної порожнини. Апарати з великою напругою магнітного поля, починаючи з 1,5 Тл, додатково до МРТ виконують програми спектроскопії, що дозволяє вивчати хімічний склад тканин і процеси метаболізму *in vivo*.



### 3.5. Основна термінологія, яка використовується при МРТ

Для характеристики МР-томограм застосовують такі терміни: гіперінтенсивний і гіпоінтенсивний сигнал. Один і той же морфологічний субстрат представляється гіпоінтенсивним на T1-зважених зображеннях та гіперінтенсивним - на T2-зважених (мал. 51).

- гіпоінтенсивний сигнал - компактна кістка, сполучнотканинні структури, гемосидерин, рідина в T1ВІ, на екрані апарату або на томограмах - чорні відтінки.
- гіперінтенсивний сигнал - жир, метгемоглобін, рідина в T2ВІ, білі відтінки на екрані апарату або на томограмах.



Мал. 51. Колінний суглоб, сагітальна площина

## РОЗДІЛ 4. РАДІОНУКЛІДНІ ТОМОГРАФІЧНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ

### 4.1. Радіонуклідна діагностика, історія її розвитку

Радіонуклідна (радіоізотопна) діагностика - розділ медичної радіології, що включає методи медичної візуалізації, в основі яких лежить застосування радіоактивних речовин для отримання діагностичної інформації.

В основі радіонуклідного методу діагностики лежить явище природної радіоактивності, відкрите в кінці XIX століття французьким фізиком Анрі Беккерелем. А.Беккерель експериментував з речовинами, що мають здатність до флуоресценції під впливом світла видимого спектру. Він припускав отримати засвічування фотоплівки, загорнутої в чорний папір при впливі на неї променями, що випускаються флуоресцируючими мінералами. Одним з таких мінералів була руда, що містить солі урану. Однак вчений виявив, що фотоплівка засвічувалася при впливі на неї сполук урану не тільки в моменти, коли вони випускали видиме світло, але і в повній темряві, коли світіння уранових солей не спостерігалось.

Таким чином, А. Беккерель встановив, що уран здатний випускати невидимі промені, які викликають засвічування рентгенівської пластини, тобто за властивостями нагадують ті, що були відкриті В. Рентгеном. 24 лютого 1896 р. А. Беккерель доповів про своє відкриття на засіданні Паризької Академії наук. Подружжя П'єр Кюрі та Марія Склодовська-Кюрі (мал. 52), переробивши близько 8 тон смоляної уранової руди, виділили нові хімічні елементи, здатні виділяти такі ж промені: полоній, названий на честь батьківщини Марії – Польщі, та радій - «променистий». Від «радію» і виник термін «радіоактивність». За пропозицією М. Кюрі, явище назвали природною радіоактивністю. У наступні 20 років були відкриті всі інші природні радіоактивні елементи.



Мал.52. Марія і П'єр Кюрі.

У 1903 р. шведська королівська академія наук присудила подружжю Кюрі спільно з Анрі Беккерелем Нобелівську премію з фізики «на знак визнання... їх спільних досліджень явищ радіації, відкритих професором Анрі Беккерелем».

Видатний фізик Е. Резерфорд виявив дві складові випромінювання урану: менш проникаючу, названу альфа-випромінюванням, і більш проникаючу, названу бета-випромінюванням.

Третя складова уранової радіації, найбільш проникаюча з усіх, була відкрита пізніше, у 1900р., П. Віллардом і названа за аналогією з резерфордським рядом гамма-випромінюванням.

На підставі експериментальних даних Е. Резерфорд і Ф. Содді в 1903 р. прийшли до припущення про радіоактивний розпад атомів - процес, при якому відбувається перетворення одних хімічних елементів в інші з випусканням радіоактивних випромінювань. У 1911р. Е. Резерфорд створив планетарну модель будови атома з центрально розташованим ядром й електронами, що обертаються по периферії, а в 1913 р. її уточнив датський фізик Н. Бор. На підставі розробленої ними моделі в 1919 р. вперше була здійснена штучна ядерна реакція, в ході якої з ядра атома азоту при бомбардуванні його альфа-частинками було отримано ядро атома кисню.

У 30-х роках ХХ століття Ірен Кюрі (донька Марії та П'єра Кюрі) та її чоловік Фредерік Жоліо продовжили роботу з ядерними реакціями і виявили, що після припинення обстрілу елементарними частинками ядер деяких хімічних речовин вони стають самостійними джерелами радіоактивних випромінювань. У 1934 р. подружжя Жоліо-Кюрі вперше отримали в лабораторії штучні радіоактивні ізотопи, які з тих пір стали використовувати в променевій діагностиці та променевої терапії разом з рентгенівськими променями. У 1935 р. Ірен і Фредеріку Жоліо-Кюрі була присуджена Нобелівська премія з хімії «за виконаний синтез нових радіоактивних елементів».

#### **4.2. Фізичні основи радіонуклідної діагностики.**

**Радіоактивність** - це мимовільне перетворення ядер атомів нестабільних хімічних елементів в інші, внаслідок якого виділяються певні види іонізуючого випромінювання (корпускулярне або електромагнітне) й енергія.

Хімічні елементи, що мають атомні ядра, які схильні до мимовільного радіоактивного розпаду, називають радіонуклідами. Всі радіоактивні випромінювання – іонізуючі, вони здатні іонізувати атоми і розкласти нейтральні молекули, в тому числі і біологічних об'єктів.

## **Фізичні властивості іонізуючих випромінювань**

- велика енергія;
- велика проникаюча здатність;
- іонізуюча здатність — здатність утворювати багато пар іонів при взаємодії з атомами середовища – використовуються в дозиметрії;
- фотохімічна здатність — здатність активувати молекули броміду срібла або інших хімічних сполук (використовуються в фотодозиметрії);
- люмінесцентна здатність — здатність викликати спалахи світла у люмінофорах;
- теплова дія – здатність енергії іонізуючого випромінювання перетворюватись на тепло;
- сильно виражена біологічна дія – використовується в променевій терапії.

### **Види випромінювань**

корпускулярні:

АЛЬФА    БЕТА

хвильовий:

ГАММА

**Альфа-випромінювання** - потік позитивно заряджених частинок - ядер гелію, що містять два протони та два нейтрони. Має найбільшу іонізуючу і малу проникаючу здатністю. Для захисту від зовнішнього впливу досить захиститися будь-яким тонким шаром (наприклад, листком щільного паперу). Крім того, від зовнішнього альфа-випромінювання людину захищає природний непроникний бар'єр - роговий шар шкіри, що складається з відмерлих клітин епідермісу.

**Бета-випромінювання** - потік негативно заряджених частинок - електронів або позитивно заряджених - позитронів. Має більшу проникаючу здатність у порівнянні з альфа-променями: пробіг у повітрі складає метри, в

біологічній тканині - сантиметри, тому і для захисту від них потрібні більш щільні і товсті екрани (кілька міліметрів алюмінію або кілька метрів повітря).

**Гамма-випромінювання** - жорсткі електромагнітні коливання, які утворюються при розпаді ядер багатьох радіоактивних елементів. Має меншу енергію і найбільшу проникаючу здатність, тому в сучасній радіонуклідній діагностиці застосовуються препарати, що випромінюють гамма-кванти. Довжина пробігу в повітрі досягає сотень метрів, тому для екранування від них необхідні спеціальні пристрої з матеріалів, здатних добре затримувати ці промені (свинець, бетон, вода). Іонізуючий ефект дії гамма-випромінювання обумовлений в основному як безпосереднім витрачанням власної енергії, так і іонізуючою дією електронів, що вибиваються з опроміненої речовини.

## **Основні принципи отримання діагностичної інформації.**

### **4.3. Радіофармацевтичні препарати**

**Радіофармацевтичний препарат (РФП)** - це дозволена для введення в організм людини з діагностичною або лікувальною метою хімічна сполука, що складається з фармакологічного препарату, що відображає метаболізм досліджуваного органу та радіоактивного нукліда, який дозволяє простежити розподіл фармпрепарату в досліджуваному органі.

Всі РФП проходять атестацію, подібну до інших ліків та фармацевтичних препаратів. Вони повинні мати відповідну хімічну, радіохімічну, радіонуклідну чистоту і бути стерильними та апірогенними. Хімічна чистота РФП визначається наявністю в ньому інших не радіоактивних речовин, особливо домішок важких металів. Радіохімічна чистота РФП визначається часткою радіонукліда, яка знаходиться в препараті в відповідній хімічній формі. Радіохімічні домішки можуть значно впливати на достовірність отриманої інформації. Радіонуклідна чистота РФП полягає у відсутності домішок радіонуклідів, які можуть створювати небажано високі дози опромінення пацієнта, знизити

точність і змінити результати дослідження. Цей вид чистоти контролюється радіо- та спектрометрією. Стерильність досягається стерилізацією одним із 4 способів оброблення паром, сухим теплом, фільтрацією, опроміненням (радіаційна стерилізація). Апірогенність забезпечується використанням апірогенних реагентів, розчинів, посуду і дотриманням відповідних вимог в процесі виробництва і приготування препаратів. Найбільш важливо, щоб препарат давав корисну діагностичну інформацію, був нешкідливим для пацієнтів і недорогим.

*Вимоги, що висувуються до діагностичних РФП:*

- 1) відсутність хімічної біотоксичності та радіотоксичності;
- 2) короткий період напіврозпаду;
- 3) виділення гамма-випромінювання (у зв'язку з найбільшою проникаючою здатністю та найменшим біоефектом);
- 4) наявність біологічних властивостей, що визначають участь у метаболізмі досліджуваного органу або системи;
- 5) фармакодинаміка РФП, при якій він швидко виводиться з організму.

### **Шляхи введення РФП:**

1. Ентеральний (per os): РФП всмоктується в кров із шлунково-кишкового тракту та накопичується в досліджуваному органі. Наприклад, всмоктування радіоактивного йоду (неорганічний етап обміну йоду в організмі). Коли ж РФП всмоктується повільніше, ніж накопичується органом, тоді цей шлях лімітується. Наприклад, ми не можемо визначити функцію нирок при пероральному введенні РФП, тому що нирки швидше виводять цей препарат із крові, ніж він всмоктується в кишечнику.

2. Внутрішньовенне введення РФП: використовується для дослідження функції та топографії печінки, нирок, серцево-судинної системи, головного мозку та інших органів. Використовується також внутрішньоартеріальний шлях введення РФП.

3. Підшкірний: для проведення непрямой лімфографії з метою оцінки стану лімфатичних вузлів при діагностиці регіонарних метастазів.

4. Внутрішньошкірний: використовується для оцінки тканинної резорбції при захворюваннях судин.

5. Інгаляційний: для оцінки вентиляційної здатності легень та кровообігу мозку.

6. В лімфатичні судини: для проведення прямої лімфографії.

7. Безпосередньо в тканини: для оцінки м'язового кровообігу.

8. В спино-мозковий канал: для визначення його прохідності.

### **РФП поділяються на:**

Специфічні - з певною вибірковістю накопичення.

Безселективні - без певної вибіркової накопичення.

Органотропні – що вибірково накопичуються в певному органі.

Туморотропні – що вибірково накопичуються в пухлині (переважно в злоякісній).

*За здатністю проникати або не проникати крізь гематотканинні й мембранні бар'єри:*

- дифундуючі
- недифундуючі

*В залежності від характеру накопичення в патологічних осередках радіофармпрепарати поділяються на:*

- РФП для позитивної візуалізації патологічних процесів: відбувається патологічна поява або підвищення інтенсивності гамма-випромінювання понад органами, в яких у нормі ці РФП не акумулюються (наприклад, фосфатні комплекси, мічені технецієм ( $^{99m}\text{Tc}$ ), депонуються в зоні інфаркту міокарда або мічені аутологічні лейкоцити у вогнищі запалення).



- РФП для негативної візуалізації патологічних процесів: ці РФП в нормі активно накопичуються в досліджуваному органі, тому відсутність або зниження їх акумуляції в цьому органі розцінюється як патологія (наприклад, при порушенні коронарного кровотоку на сцинтиграмах міокарда утворюється ділянка відсутності акумуляції  $^{201}\text{Tl}$ -хлориду, який в нормі активно акумулюється в міокарді завдяки інтенсивній гемоперфузії).

*За періодом напіврозпаду:*

- ультракороткоживучі (період напіврозпаду від хвилин до годин);
- короткоживучі (період напіврозпаду від годин до двох тижнів);
- довгоживучі (період напіврозпаду більше двох тижнів).

Основою радіонуклідної діагностики є вимірювання радіоактивності всього тіла або окремих ділянок, тобто органів, тканин та біологічного матеріалу, який ми беремо у пацієнта.

При цьому вивчаються:

**1. Розбавлення РФП.** Частіше відбувається в рідких середовищах організму людини. Наприклад, за допомогою принципу розбавлення вимірюється об'єм циркулюючої крові (ОЦК). Внутрішньовенно вводиться альбумін сироватки крові, помічений  $^{99\text{mTc}}$ -пертехнетатом, який циркулює з кров'ю і не виходить за межі судинного русла. Після його перемішування (через 15-20 хвилин) береться кров і в колодязному лічильнику вимірюється радіоактивність, яка порівнюється з радіоактивністю введеного РФП. Чим більший об'єм циркулюючої крові, тим менша буде концентрація в ній РФП. ОЦК розраховуємо по формулі розбавлення:

**2. Швидкість переміщення.** Наприклад, визначення швидкості венозного кровообігу нижніх кінцівок. Для цього вводиться у вену ступні РФП, детектор встановлений в ділянці пупартової зв'язки, включається

самописець, який записує хронограму. Час появи підйому активності на кривій і буде мірою швидкості кровообігу (сек).

**3. Накопичення і виведення.** Якщо ми вводимо тропний до органу препарат, то чим кращий кровообіг в ньому, чим краще функціонує орган, тим швидше він захопить цей препарат із крові. Радіоактивність препарату при цьому зменшиться, і тим швидше він виведеться із організму, якщо він екскретується, наприклад нирками. В інших випадках, коли препарат, наприклад мічений колоїд, не екскретується печінкою фаза екскреції буде відсутньою. Тому на самописці підйом кривої буде високим і крутим. Якщо функція органу знижена, то цей підйом буде низький і пологий, а виведення дози повільним, відповідно більш повільно знижується і прекардіальна крива радіоактивності (крива кліренсу крові). Отримані параметри можуть розраховуватись у відносних або абсолютних величинах, що визначається за допомогою математичного моделювання фізіологічних процесів і дає можливість вивчити функцію органу

**4. Розподілення РФП.** Цей принцип дає можливість за допомогою органотропного препарату отримати гамма-топограму (сканограму, статичну сцинтиграму, емісійну томограму), вивчити топографію органу (місце розташування, розміри, форму, обриси), виявити вогнищеві і дифузні патологічні зміни завдяки нерівномірному розподіленню РФП в ньому

**5. Взаємодія.** Принцип використовується частіше при *in vitro* діагностиці, який базується на взаємодії (конкурентному сполученні) шуканих стабільних і аналогічних їм мічених сполук (антигенів) із специфічною сприймаючою системою - з антитілом. Для цього використовують комерційні набори, до складу яких входять: антиген радіоактивний (аналог того, який потрібно визначити), 5 пробірок зі стандартними відомими концентраціями для одержання калібруючої кривої. Ці компоненти вносять в пробірку, в яку додається сироватка крові хворого. Антитіл береться менше, ніж сумарно антигенів, котрі конкурують за зв'язок

з антитілами. В такому випадку перевага буде на боці того антигену, якого більше. Після інкубації центрифугуємо і проводимо радіометрію зв'язаних комплексів, що випали в осадок. Якщо у сироватці крові вміст антигену високий, то осад буде менш радіоактивний. А якщо антигену у сироватці мало, то з антитілами зв'яжеться більше радіоактивного тироксину і осад буде більш радіоактивним, наприклад, для кількісного визначення тироксину, таке ж дослідження провадиться зі стандартними концентраціями нерадіоактивного антигену, наприклад, 30, 60, 90, 120, 150 нмоль/л тироксину. За результатами радіометрії креслимо графік залежності радіоактивності від концентрації, тобто отримується калібровочна крива. Від значення радіоактивності на осі ординат проводимо горизонтальну лінію до перетину з калібровочною кривою, опускаємо перпендикуляр на лінію абсцис і знімаємо показник концентрації тироксину в крові хворого. При оснащенні багатоканального лічильника (наприклад 12-канального Гамма-800), ЕОМ результати радіоімунологічного аналізу (PIA) розраховуються і виводяться на принтер автоматично. Поміченими можуть бути антитіла. В цьому випадку реакцію називають – імунорадіометричний аналіз (IPMA).

#### **Етапи дослідження:**

1. Парентеральне введення РФП.
2. Поступаючи в організм людини, РФП включається в фізіологічні або патофізіологічні процеси, що, в свою чергу, визначається локальним кровотоком й активністю метаболічних процесів.
3. Вибіркове поглинання РФП органами, в метаболізмі яких бере участь даний РФП.
4. При цьому досліджуваний орган обов'язково повинен бути хоча б у мінімальному ступені функціонально активним. Нефункціонуючий орган не накопичує РФП! Поглинання РФП дає

можливість отримувати діагностичну інформацію про морфологічний та функціональний стан досліджуваного органу або біологічної системи.

5. Реєстрація гамма-випромінювання в органі з вибіркоким накопиченням РФП.

Гамма-кванти, що випускаються радіоактивними нуклідами, в тілі пацієнта поширюються прямолінійно у всіх напрямках, передають енергію, в результаті чого виникає світіння - *сцинтиляція*. Гамма-кванти уловлюються спеціальними детекторами, розташованими поблизу тіла пацієнта. Реєстрація патологічних процесів ґрунтується на вимірюванні рівня радіоактивності над досліджуваним органом щодо навколишніх тканин.

#### **4.4. Види радіонуклідних томографічних досліджень**

##### **Види радіонуклідних досліджень:**

Динамічні:

*з метою вивчення динаміки розподілу РФП в органі.*

Статичні:

*для оцінки просторового розподілу РФП в тілі або органі хворого.*

Статичні дослідження: розраховується ступінь накопичення РФП в тканинах, порівнюються показники ступеня накопичення в різних ділянках органів, оцінюється рівномірність накопичення всередині органу.

Динамічні дослідження: досліджується зміна рівня радіоактивності над досліджуваним органом з наступною побудовою кривих розподілу РФП в залежності від часу (від моменту внутрішньовенної ін'єкції РФП протягом певного часу). Використовуються при дослідженні функції органів: нирок, печінки, жовчовивідних шляхів, щитовидної залози.

**Сцинтиграфія** - спосіб радіонуклідної діагностики, що забезпечує отримання зображення органів і тканин за допомогою реєстрації випромінювання на гамма-камері, що випускається інкорпорованим радіонуклідом (мал. 53). Дає інформацію про топографо-анатомічні характеристики і характер розподілу в досліджуваному біологічному об'єкті РФП.

Планарна сцинтиграфія - зображення органів і тканин отримують в певній площині. Головний недолік планарної сцинтиграфії - сумацийний ефект.



Мал. 53. Статична сцинтиграма скелета.

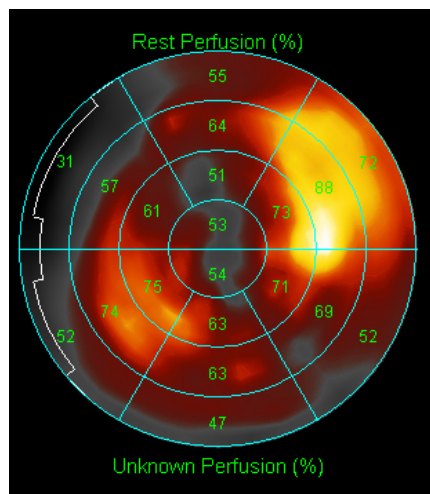
Застосування методик томографії в радіонуклідній діагностиці дозволило усунути сумацийний ефект.

**Емісійні томографи** дозволяють отримати пошарове зображення (мал. 54).



Мал.54. Емісійний томограф.

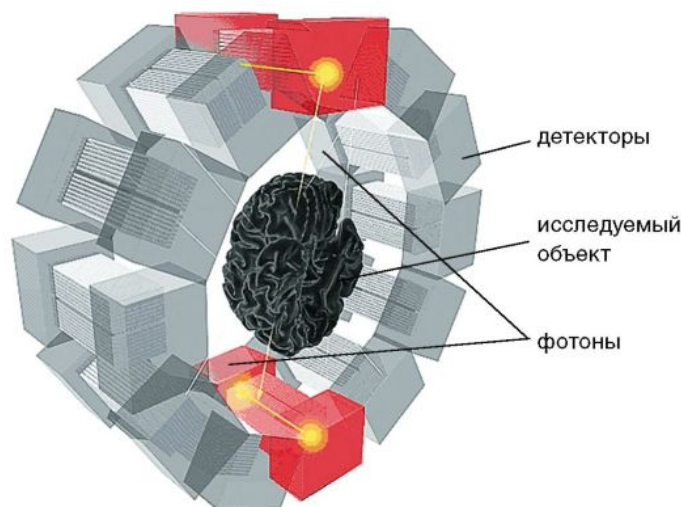
**Однофотонна емісійна комп'ютерна томографія (ОЕКТ).** Ця методика дозволяє отримувати зображення аксіальних зрізів досліджуваного органу завдяки обертанню детектора гамма-камери навколо досліджуваного об'єкта (мал. 55). Таким чином усувається сумаційний ефект.



Мал.55. Аксіальний зріз.

При необхідності аксіальні зрізи реконструюються в зображення в інших площинах. Ще однією перевагою ОЕКТ, в порівнянні з планарною сцинтиграфією, є велика роздільна здатність, тобто, є можливість більш детального вивчення особливостей досліджуваного органу.

**Позитронно-емісійна томографія (ПЕТ)** - методика, що передбачає введення в організм людини РФП, які випускають випромінювання, або позитрони (мал. 56). Кожен РФП-позитрон, що випускається, в організмі людини починає взаємодіяти з найближчим електроном. Позитрони та електрони мають однакову масу, але протилежні електричні заряди, тому виникає їх взаємознищення - анігіляція. При анігіляції відбувається виділення анігіляційних гамма-квантів, що розповсюджуються в протилежних напрямках і уловлюються спеціальними детекторами.



Мал. 56. Схема ПЕТ.

ПЕТ дозволяє проводити точну кількісну оцінку концентрації радіонуклідів у досліджуваному органі і може використовуватися для тонкого вивчення метаболічних процесів, що протікають в ньому. Наприклад, ПЕТ актуальна в діагностиці злоякісних пухлин: в пухлинних клітинах з високим рівнем вуглеводного обміну, які активно метаболізуються, дуже інтенсивно акумулюється  $^{18}\text{F}$ -дезоксиглюкоза (метаболічний аналог звичайної глюкози). Активно застосовується ПЕТ і в кардіології:  $^{18}\text{F}$ -дезоксиглюкоза добре включається у вуглеводний обмін міокарда та дозволяє визначити ступінь його життєздатності.

#### 4.5. Напрямки і переваги застосування радіонуклідних досліджень

***В даний час основними напрямками застосування радіонуклідного дослідження є:***

1. Діагностика злоякісних пухлин і пошук метастазів (особливо, дрібних, на початкових стадіях їх розвитку).
2. Дослідження функціонального стану різних органів.
3. Пошук вогнищ інфекції при лихоманці невизнаного генезу (перевага - можливість дослідження всього тіла).
4. Діагностика порушень регіонарного кровотоку: виявлення прихованої ішемії, оцінка площі ураження міокарда, оцінка життєздатності міокарда, діагностика початкових стадій інсульту (перші години), транзиторних ішемічних атак.

**Переваги радіонуклідної діагностики.**

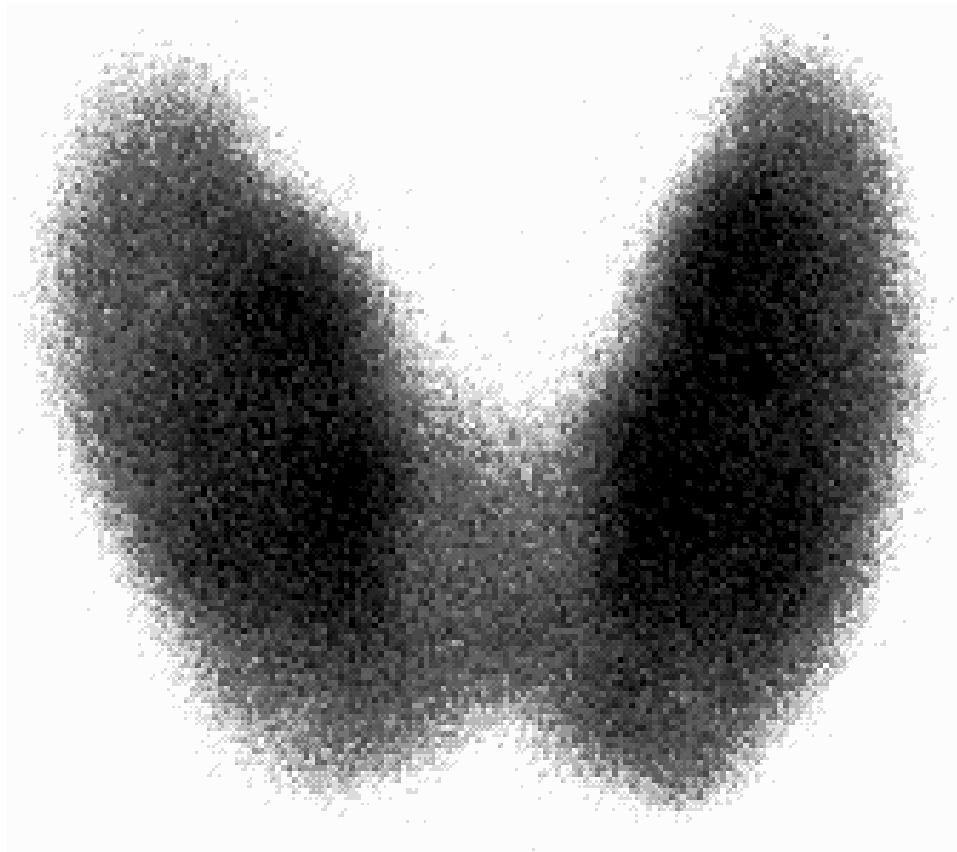
В основі рентгенологічного методу, КТ, УЗД, МРТ лежить візуалізація морфологічних характеристик досліджуваного органу або системи.

Головна перевага радіонуклідних методів у порівнянні з іншими засобами променевої діагностики - можливість отримувати діагностичну інформацію про функціональний стан досліджуваного органа чи біологічної системи. Ще одна важлива перевага - можливість одномоментного дослідження всього тіла (наприклад, візуалізація всіх метастазів певної пухлини в усіх органах та системах).

**Основні терміни, які використовуються в радіонуклідній діагностиці:**

Сцинтиграфічне зображення може бути представлено як в чорно-білому, так і в кольоровому режимах.

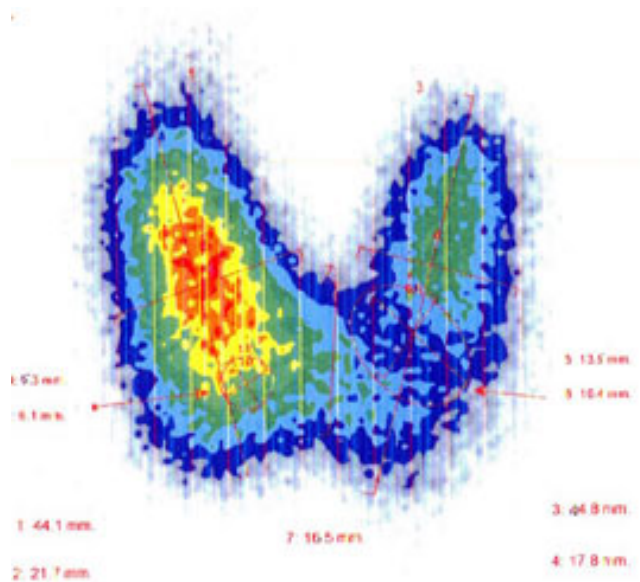




Мал. 57. На сцинтиграмі рівномірне накопичення РФП щитоподібною залозою.

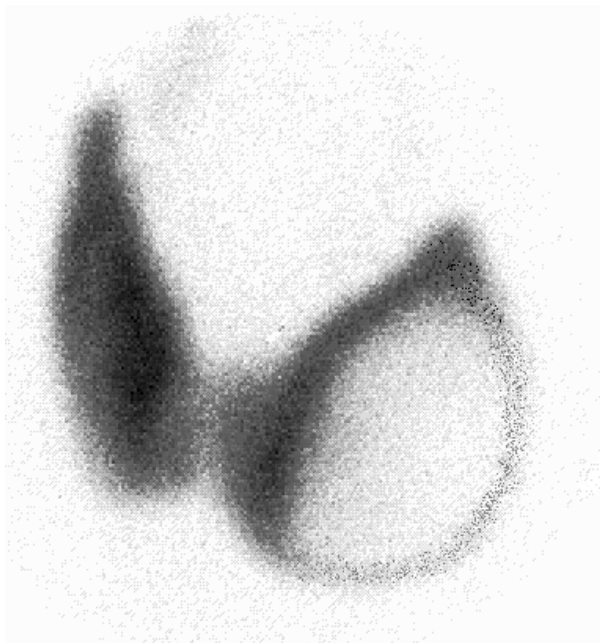
При оцінці отриманих сцинтиграфічних зображень застосовуються терміни, що характеризують ступінь накопичення індикатора (мал. 57).

- «гаряче» вогнище - зона підвищеної акумуляції РФП, гіперфіксації РФП в досліджуваній ділянці (наприклад, підвищене включення остеотропної РФП у новоутворенні кістки) (мал. 58);



Мал.58. На сцинтиграмі гаряче вогнище правої долі щитоподібної залози.

- «холодне» вогнище - зона зниженої акумуляції, гіпофіксації РФП у досліджуваній ділянці (наприклад, зона відсутності накопичення РФП в ділянці кісти щитоподібної залози) (мал. 59).



Мал.59. На сцинтиграмі холодне вогнище лівої долі щитоподібної залози.

## ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Основні властивості рентгенівського випромінювання.
2. Принципи формування рентгенівського зображення.
3. Природне та штучне контрастування.
4. Види рентгеноконтрастних речовин.
5. Фізичні основи магнітно-резонансної томографії.
6. Принципи отримання зображення при ехографії.
7. Фізичні основи радіонуклідної діагностики.
8. Методи радіонуклідної діагностики.
9. Терміни, які використовуються в рентгенодіагностиці, комп'ютерній томографії.
10. Терміни, які використовуються в магнітно-резонансній томографії, сонографії.

## ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Засідання медико-фізичного товариства, на якому В.К. Рентген доповів про своє відкриття нових променів, відбулося:
  - А) 8 листопада 1805
  - Б) 25 листопада 1995
  - В) 28 грудня 1895
2. Відкриття рентгенівських променів було здійснено:
  - А) у Берліні
  - Б) у Відні
  - В) у Вюрцбурзі
3. Яких властивостей не має рентгенівське випромінювання:
  - А) проникає через тіла та предмети
  - Б) викликає світіння ряду хімічних сполук

В) не викликає розпад нейтральних атомів на позитивно та негативно заряджені частинки

4. У зв'язку з чим рентгенівське випромінювання небайдуже для живих організмів:

А) у зв'язку з тим, що проникає через тіла та предмети, які не пропускають світло

Б) викликає розпад нейтральних атомів на позитивно та негативно заряджені частинки

5. Зображення при комп'ютерній томографії отримують:

А) у результаті неоднорідного послаблення рентгенівського випромінювання різними за щільністю тканинами

Б) у результаті неоднорідного відбивання рентгенівського випромінювання різними за щільністю тканинами

В) у результаті відбивання хвиль від середовищ з різними акустичними властивостями

6. Зображення при УЗД отримують:

А) у результаті відображення ультразвукових хвиль від середовищ з різними акустичними властивостями

Б) у результаті неоднорідного поглинання випромінювання різними за щільністю тканинами

В) у результаті неоднорідного відображення випромінювання різними за щільністю тканинами

7. Перевага сцинтиграфії в тому, що вона

А) дає діагностичну інформацію про функціональний стан органу

Б) краще за інші методи дозволяє візуалізувати анатомічну будову

В) не використовує іонізуючого випромінювання

8. Який з перерахованих методів не відноситься до радіонуклідної діагностики:

А) радіометрія

Б) іригографія

В) сцинтиграфія

9. Який вид випромінювання використовується у формуванні КТ-зображення:

А) ультразвукове

Б) рентгенівське

В) ніяке з перерахованих

10. Прицільний рентгенологічний знімок це -

А) знімок частини тіла або цілого органу

Б) знімок із зображенням частини органу в проекції, яка цікавить лікаря, оптимальній для дослідження тієї чи іншої деталі

В) знімок органів, розташованих в одній порожнині

11. Рентгенологічне дослідження слід проводити:

А) за суворими показаннями

Б) без показань

В) на вимогу пацієнта

12. При рівній інформативності потрібно віддавати перевагу дослідженням:

А) які супроводжуються меншим опроміненням

Б) які не пов'язані з опроміненням хворого

В) ступінь опромінення при дослідженнях не має значення

13. До числа неіонізуючих випромінювань не належить:

А) рентгенівське

Б) резонансне

В) ультразвукові хвилі

14. Не є електромагнітними:

А) інфрачервоні промені

Б) звукові хвилі

В) рентгенівські промені

15. Ультразвук являє собою рух часток пружного середовища, які поширюються хвилеподібно коливальним рухом з частотою:
- А) понад 20 кГц
  - Б) від 20 Гц до 20 кГц
  - В) менше 20 Гц
16. Проходячи через тканини організму людини, все іонізуюче випромінювання:
- А) відбиває свою енергію від атомів тканин
  - Б) передає свою енергію атомам тканин, викликаючи їх збудження й іонізацію
  - В) не викликає іонізації атомів середовища
17. Від яких з перелічених тканин найбільше відбивання ультразвуку?
- А) вода - кістки черепа
  - Б) кров - нирка
  - В) підшлункова залоза - жир
18. До методів променевої діагностики не належить:
- А) сонографія
  - Б) бронхоскопія
  - В) сцинтиграфія
19. Методика доплерографії використовується для
- А) визначення форми, контурів та структури паренхіматозних органів
  - Б) характеристики потоків крові в судинах
  - В) диференціальної діагностики захворювань порожнистих органів
20. Чим менше досліджуваний орган поглинає випромінювання,
- А) тим світліше буде його зображення
  - Б) тим інтенсивніша його тінь
  - В) ступінь поглинання не впливає на формування зображення
21. Від яких параметрів не залежить відбивання ультразвуку:
- А) від кута падіння ультразвукового променя

Б) від різниці акустичних щільностей середовища

В) від частоти ультразвуку

22. В доплерографії в якості рухливого об'єкта виступають:

А) рухомі еритроцити

Б) коливання стінки судини

В) скорочення серця

23. Більш чутливі до опромінення

А) малодиференційовані клітини

Б) високодиференційовані клітини

В) диференціація не має значення

24. В якій з перелічених тканин променеві ушкодження будуть

максимальні:

А) хрящова

Б) жирова

В) кровотворна

25. При рівній товщині шару якою тканиною найсильніше поглинається випромінювання:

А) паренхіматозними органами

Б) кістковою

В) газом

26. Оглядовий рентгенологічний знімок це

А) знімок частини тіла або цілого органу

Б) знімок з зображенням частини органу в проекції, яка цікавить лікаря, оптимальній для дослідження тієї чи іншої деталі

В) знімок частини органу

27. Найбільше променеве навантаження дає

А) магнітно-резонансна томографія

Б) ультразвукове дослідження

В) рентгенологічне дослідження

28. Рентгенографія - метод рентгенологічного дослідження, при якому зображення об'єкта одержують

А) на світлому екрані

Б) на рентгенівській плівці

29. При рентгеноскопії зображення об'єкта одержують

А) на світлому екрані

Б) на твердому носії

30. Які терміни використовують при МРТ:

А) ізоденсний, гіподенсний

Б) високоінтенсивний, слабоінтенсивний

В) ехонегативний, ехопозитивний



## Перелік скорочень

ВНЗ – вищий навчальний заклад

КДК – колірне доплерівське картування

КТ – комп'ютерна томографія

КТ-анатомія – комп'ютерно-томографічна анатомія

КТ-ангіографія – комп'ютерно-томографічна ангіографія

КТ-аортографія – комп'ютерно-томографічна аортографія

МР-анатомія – магнітно-резонансна анатомія

МР-зображення – магнітно-резонансне зображення

МР-сигнал – магнітно-резонансний сигнал

МРТ – магнітно-резонансна томографія

од.Н – одиниці Хаунсфілда

ОЕКТ – одnofотонна емісійна комп'ютерна томографія

ПЕТ – позитронно - емісійна томографія

РФП – радіофармакологічний препарат

ТРУЗД – трансректальне ультразвукове дослідження

УЗ-анатомія – ультразвукова анатомія

УЗ-апарат – ультразвуковий апарат

УЗД – ультразвукове дослідження

УЗ-хвилі – ультразвукові хвилі

ЯМР – ядерно-магнітний резонанс

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### Основна:

1. Арсвольд Д., Верник М. Эмиссионная томография: основы ПЭТ и ОФЭКТ. М.: изд. Техносфера, 2009. — 600 с.
2. Визир В.А., Приходько И.Б. Ультразвуковая диагностика в практике врача-терапевта. Запорожье, 2005. — 415 с.
3. Детская ультразвуковая диагностика / Под общей ред. Пыкова М. И., Ватолина К. В.- М.: Видар, 2001. — 680 с., ил.
4. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология (основы лучевой диагностики и лучевой терапии): Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина, 2000.— 672 с.: ил.
5. Линденбратен Л.Д., Лясс Ф.М. Медицинская радиология. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Медицина, 1986. — 368 с., ил.
6. Меллер Т. Норма при рентгенологических исследованиях. М.: изд. МЕДпресс-информ, 2009. — 288 с.
7. Меллер Т., Райв Э. Норма при КТ- и МРТ-исследованиях. М.: изд. МЕДпресс-информ, 2008. — 256 с.
8. Морозов С.П., Насникова И.Ю., Сеницын В.Е. Мультиспиральная компьютерная томография. М.: изд. ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 112 с.
9. Радіонуклідна діагностика та променева терапія /за ред.А.П.Лазаря/. — Вінниця: Нова книга, 2006.—200 с.
10. Рентгенодіагностика /за ред.В.І.Мілька/.—Вінниця: Нова книга, 2005. —352с.
11. Руководство по ультразвуковой диагностике / Под ред. П.Е.С. Пальмера М: издательство «Медицина», 2000. — 335 с., ил.
12. Труфанов Г.Е. Рентгеновская компьютерная томография (Руководство для врачей) / Г.Е. Труфанов, С.Д. Рудь и др. — СПб.: Фолиант. — 2008. — 1195 с.

**Додаткова:**

1. Воронцов А.В. Магнитно-резонансная томография гипоталамо-гипофизарной системы в диагностике эндокринных заболеваний. М.: изд. Альма-матер, 2009. — 127 с.
2. Дергачёв А.И., Котляров П.М. Абдоминальная эхография: справочник. — М.: ЭликсКом, 2005. — 352 с., ил.
3. Евдокимов А.Г., Тополянский В.Д. Болезни артерий и вен: Справочное руководство для практического врача. — 2-е изд. — М.: Советский спорт, 2001. — 256 с., ил.
4. Зубарев А.В., Гажонова В.Е. Диагностический ультразвук. Уронефрология. / Практическое руководство. М., Видар, 2002. — 248 с., ил.
5. Зубарев А.Р., Митькова М.Д., Корякин М.В. и др.. Ультразвуковая диагностика заболеваний наружных половых органов у мужчин. М., Видар, 1999. — 96 с.
6. Квятковский Е.А., Квятковская Т.А. Ультрасонография и доплерография в диагностике заболеваний почек. — Днепропетровск: Новая идеология, 2005. — 318 с., ил.
7. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология (издание второе, дополненное и переработанное). — Москва: изд. Реальное время, 2003. — 322 с., ил.
8. Медведев М.В., Зыкин Б.И., Хохолин В.Л., Стручкова Н.Ю. Дифференциальная ультразвуковая диагностика в гинекологии. — М.: Видар, 1997. — 192 с.
9. Пыков М.И., Соколов Ю.Ю., Никулина И.С. Рентгеноультразвуковая диагностика аномалий развития и заболеваний панкреатобилиарной системы у детей. М.: изд. Видар-М, 2009. — 136 с.

10. Рентгенодиагностика в педиатрии: Руководство для врачей в 2-х томах / Под ред. Баклановой В.Ф., Филиппкина М.А.— М.: Медицина, 1988.— Т. 1.— 448 с., Т. 2. — 368 с.
11. Рыбакова М.К., Алехин М.Н., Митьков В.В. Практическое руководство по ультразвуковой диагностике. Эхокардиография. М.: изд. Дом Видар – М, 2008. – 512 с., ил.
12. Терновой С.К., Паша С. П. Радионуклидная диагностика. /Карманный атлас по лучевой диагностике. М.: изд. ГЭОТАР-Медиа, 2008. — 208 с.
13. Труфанов Г.Е. Лучевая диагностика заболеваний поджелудочной железы.СПб.: изд. ЭЛБИ, 2011. — 288 с.
14. Труфанов Г.Е. МРТ в маммологии. СПб.: изд. ЭЛБИ, 2009. —201 с.
15. Тюрин И.Е. Компьютерная томография органов грудной полости.— ЭЛБ-СПб., 2003.— 371 с.
16. Ультразвуковая доплеровская диагностика в клинике / Под ред. Никитина Ю.М., Труханова А.И. – Иваново: Издательство МИК, 2004. — 496 с., ил.
17. Хачкурузов С.Г. УЗИ в гинекологии. Симптоматика. Диагностические трудности и ошибки. СПб., Изд. «Элби», 1999. – 656 с. ил.: 1235.
18. Хофер Матиас, Н. Абанадор, Л. Кампер, Х. Раттунде, К. Центаи Рентгенологическое исследование грудной клетки. Практическое руководство/Атлас.: - М.: Мед.лит., 2008. – 224 с., ил.
19. Чуриков Д.А., Кириенко А.И. Ультразвуковая диагностика болезней вен. М.: изд. Литтерра, 2011. — 96 с.
20. Шуракова А.Б., Кармазановский Г.Г. Бесконтрастная магнитно-резонансная ангиография. М.: Видар, 2011. — 64 с.