

1. Методи та засоби медичної візуалізації

1.1 Поняття про медичну візуалізацію

З давніх часів люди прагнули зрозуміти, що являє їх тіло зсередини, як врятувати його від ушкоджень та хвороб. Але для розуміння того, як побудоване тіло, треба було зробити його доступним для зорового дослідження всередині. В давнину цього можна було досягти тільки хірургічним шляхом, здійснюючи розтин тіла. Саме так були зроблені перші спроби дослідити та описати будову тіла людини в Давньому Єгипті (XXVII ст. до н. е.), Китаї (XI–VII ст. до н. е.), Індії (IX–III ст. до н. е.). Власне, сама назва фундаментальної медичної науки – анатомії і означає «розрізання зверху». Незважаючи на великі успіхи давньогрецьких та давньоримських вчених, анатомів епохи Відродження, нічого нового, крім розтину та препарування трупів, не дозволяло розгледіти особливості внутрішньої будови організму людини.

Проте, навіть у цьому разі дослідникам необхідно було у якийсь спосіб зафіксувати побачене. Як це тоді можна було зробити, окрім як описати словами та намалювати? Тут не можна не згадати геніального художника Леонардо да Вінчі, який, завдяки наполегливим анатомічним дослідженням та правильним замальовкам побаченого, став одним з фундаторів наукової анатомії. Саме досконале знання будови тіла людини дозволило Леонардо да Вінчі стати неперевершеним художником всіх часів. Нині замальовки та описи будови людини також застосовуються для навчання та досліджень. Але цього замало для здійснення прижиттєвої діагностики. Адже потрібно отримати зображення конкретно цієї людини, цієї частини тіла, цього процесу. Така задача потребувала розробки зовсім інших способів досліджень. Людство мало подолати чималий шлях, поки були віднайдені пристрої та апарати, які дозволили б побачити тіло живої людини зсередини. Це надскладне завдання не могло бути вирішеним без успіхів фізиків, біологів, лікарів, хіміків, технічних фахівців. Саме їх спільна праця подарувала медицині можливість отримувати діагностичні зображення для спостереження тих структур та процесів всередині організму, які недоступні зоровому сприйняттю звичайної людини.

Медична візуалізація або медичне зображення (англ. *Medical imaging*) – сукупність методів та технічних засобів для створення прижиттєвих зображень тіла людини з метою їх клінічного або дослідницького застосування. Методами отримання зображень в медицині є інтроскопія, ендоскопія, мікроскопія та медична фотографія. Різновидом медичних зображень нині вважаються узагальнюючі зображення, які мають вигляд карт просторового розподілу параметрів, отриманих при здійсненні досліджень, від початку не призначених для безпосередньої візуалізації (електрокардіографія, електроенцефалографія тощо).

5.3.2 Медична інтроскопія

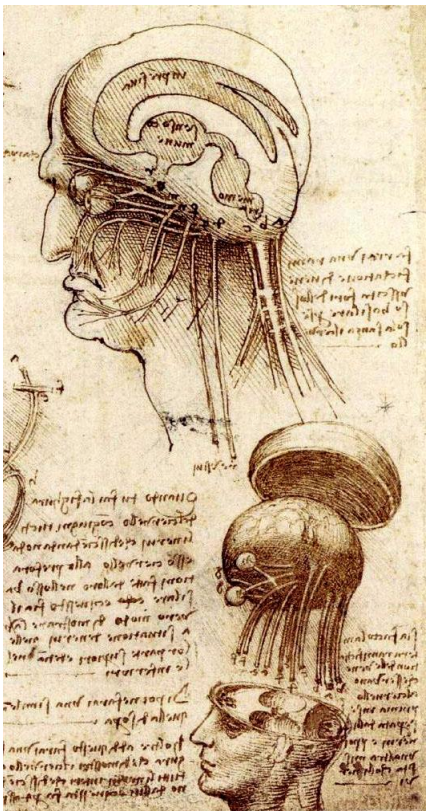
Інтроскопія (лат. *intro* – всередину, грецьк. *skopeo* – дивитись, спостерігати) – метод досліджень, який дає можливість побачити об'єкт зсередини, не порушуючи його цілісності. Інтроскопія базується на різних фізичних явищах та застосуванні спеціальних технічних засобів для неруйнівного огляду внутрішніх структурних особливостей фізичних тіл.



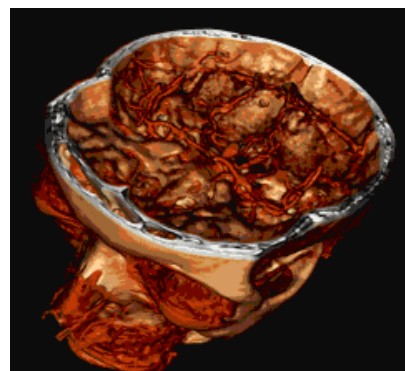
Ембріон людини
(малюнок Леонардо да
Вінчі)



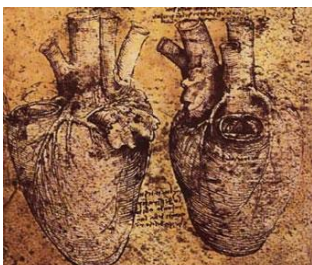
Об'ємна візуалізація ембріонів
(ультразвукове дослідження)



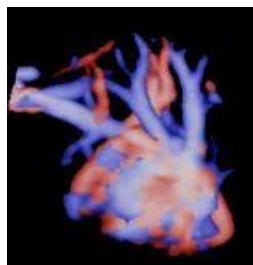
Будова голови людини
(малюнок Леонардо да
Вінчі)



Візуалізація будови голови
(магніторезонансна
томографія)



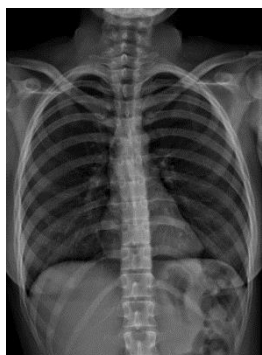
Серце людини
(малюнок Леонардо
да Вінчі)



Об'ємна візуалізація серця
(комп'ютерна томографія та
ультрасонографія)



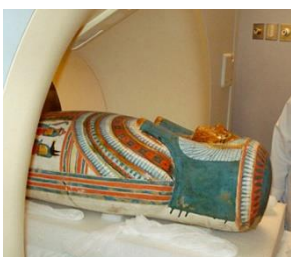
Скелет людини
(малюнок Леонардо да Вінчі)



Візуалізація скелету людини
(рентгенографія та об'ємна КТ-реконструкція)



Розтин тіла (XVII ст.)
(картина Рембрандта)



Комп'ютерна томографія
єгипетських мумій
(КТ-сканування та реконструкція обличчя)

Якщо ж йдеться про організм людини, за допомогою медичної інтроскопічної системи лікар може розрізнити внутрішні органи і тканини, визначити їх структуру, функціональний стан, а також оцінити активність біохімічних процесів всередині живого організму (*лат. in vivo*). Щоправда, ці задачі можна вирішити лише із застосуванням спеціальної техніки, яка за своїм принципом дії та можливостями здатна працювати з особливим об'єктом – організмом людини, сприймати найменші зміни його стану.

Інтроскопічне зображення являє собою зафіксований просторовий розподіл величин певного фізичного параметру, який сформувався безпосередньо після взаємодії випромінювання або поля з організмом людини або був обчислений за результатами такої взаємодії. Джерелами таких випромінювань чи полів можуть бути спеціальні апарати, в інших випадках джерелом випромінювання (емісії) є сам організм людини. При проведенні інтроскопічних досліджень застосовують найрізноманітніші фізичні явища: проходження та відбиття ультразвукових хвиль; проникнення, поглинання та розсіювання електромагнітних хвиль; дію магнітних або електричних полів, а також потоків елементарних частинок. Інтроскопічне зображення за способом формування може бути **проекційним** (один ракурс зйомки – одне зображення), **томографічним** (багато ракурсів зйомки – отримання зображень в перерізі та об'ємна візуалізація) або отриманим за принципом **ехо-зондування** (зображення в перерізі, відмінні від томограм).

Процес отримання інтроскопічних зображень базується на багатьох відомих фізичних відкриттях. Вважають, що ера медичної інтроскопії розпочалась у 1896 р. з відкриття В.-К.Рентгеном **ікс-променів** (*англ. X-rays*). Дослідження Рентгена довели можливість отримання «наскрізного» зображення (проекції) тіла людини та вивчення його внутрішньої будови за таким зображенням. Паралельно з Рентгеном ґрунтовні дослідження нового випромінювання проводив видатний український фізик Іван Пулюй. На відміну від

Рентгена І.Пуллюй щедро ділився результатами своїх досліджень, давав їм наукові обґрунтування у доповідях та лекціях, зміст яких був відомий Рентгену. Але, нажаль, у справі визнання пріоритету на відкриття першим став Рентген, який 28 грудня 1895 р. опублікував статтю «Про новий вид променів». Рентген визнавав, що цим він засвідчив саме факт наявності ікс-променів, але не надав чіткого тлумачення їх фізичної природи.

	
Один з перших знімків І.Пуллюя – рука доньки Наталі (1895 р.)	Перше медичне зображення Рентгена – рука дружини Анни (22.12.1895 р.)

Завдяки відкриттю ікс-променів Рентген став першим володарем Нобелівської премії з фізики (1901 р.) та творцем нового, унікального методу медичної діагностики – **рентгенографії**. У ХХ сторіччі на основі цього методу була розроблена ціла низка нових методів рентгенівської інтроскопії. Удосконалювалась рентгенівська техніка, впроваджувались дослідження за допомогою рентгеноконтрастних речовин, стало можливим вивчення функціонального стану окремих органів та систем (флюороскопія, ангіографія, мамографія, екскреторна урографія, тощо). Але у 70-х роках розпочався якісно новий етап розвитку рентгенівських методів медичних досліджень – впровадження **рентгенівської комп'ютерної томографії – РКТ (англ. СТ)**, яка дозволила отримати унікальні дані щодо просторового розташування анатомічних структур всередині людського тіла. На відміну від рентгенівського знімку комп'ютерна томограма відображала будову тіла людини в перерізі завдяки застосуванню спеціального режиму сканування та систем реконструкції зображення. Ця надзвичайно складна задача була вирішена англійським радіоінженером Г.Хаунсфілдом – розробником системи томографічного сканування, та американським вченим А.Кормаком, який обґрунтував математичні методи реконструкції томографічного зображення. Науковий світ не забарився з оцінкою методу РКТ – його розробникам була присуджена Нобелівська премія з фізіології та медицини (1979 р.) всього за 4 роки після демонстрації промислового зразка томографа! Тепер РКТ – це провідний метод променевої діагностики, який застосовується не тільки для дослідження стану організму, але стає незамінним при плануванні та здійсненні хірургічних операцій, створенні імплантатів та засобів реабілітації у травматології, при проведенні променевої терапії в онкології тощо.



Сер Годфрі
Хаунсфілд
та
розроблений
ним
комп'ютерний
томограф для
дослідження
голови

Кожна конкретна клінічна задача потребує додаткової обробки даних РКТ, яка полягає у побудові об'ємного зображення окремих анатомічних структур, обчисленні розмірів ушкоджених ділянок організму, визначенні траєкторії руху хірургічних інструментів тощо. Застосування потужних комп'ютерних систем та програмних засобів реконструкції зображення дозволяє отримати високоякісні томограми та будувати додаткові ракурси у будь-якій іншій площині. Система сканування РКТ також знаходиться у стані постійної модернізації: застосовується спіральна томографія, система формування конічного пучку рентгенівського випромінювання. Матрична система детекторів дозволяє одночасно отримати дані для побудови десятків томографічних зрізів. Всі ці новації дозволяють значно скоротити час дослідження та зменшити променеве навантаження на пацієнта, удосконалити процес отримання даних при скануванні.

Відкриття ікс-променів дало потужний поштовх до подальшого вивчення інших іонізуючих випромінювань. А.Беккерель відкрив явище природної радіоактивності (1896 р.). Ці дослідження продовжили П'єр та Марія Кюрі, яким вдалось відкрити та отримати нові хімічні радіоактивні елементи – радій та полоній. Всі ці троє вчених отримали у 1903 р. Нобелівську премію з фізики, а Марія Кюрі вдруге удостоїлась цієї премії з хімії (1911 р.). В 1897 р. Дж.Томсон відкрив першу елементарну частинку – електрон (Нобелівська премія 1906 р.). Батько ядерної фізики Е.Резерфорд відкрив заряджені α - та β -частинки, отримав радон та велику кількість ізотопів, створив теорію радіоактивного розпаду (Нобелівська премія 1908 р.). П.Віллар відкрив γ -випромінювання (1900 р.). Всі ці видатні наукові відкриття були доповнені фундаментальними теоретичними роботами великих фізиків М.Планка та А. Ейнштейна. Наступне велике відкриття здійснили Фредерік та Ірен Жоліо-Кюрі — французькі фізики, які у 1935 р. стали лауреатами Нобелівської премії з хімії за здійснений синтез нових радіоактивних елементів. В своїй Нобелівській лекції Ф.Жоліо-Кюрі відзначив, що застосування штучних радіоактивних елементів як мічених атомів «спростить проблему виявлення та усунення різних елементів, існуючих в живих організмах». Незабаром ці сміливі ідеї були застосовані при створенні емісійних методів дослідження організму із застосуванням штучно створених ізотопів.

Емісійна інтроскопія нині представлена двома клінічними методами досліджень – радіоізотопним та позитронно-емісійним. Обидва методи реалізуються шляхом введення в організм пацієнта спеціально виготовленого радіофармпрепарата (**РФП**). До складу РФП входить певний ізотоп, який виконує роль маркера обмінних процесів у тканинах організму. В залежності від активності обміну речовин в органах і тканинах накопичується певна кількість ізотопів, які при розпаді створюють потік γ -квантів та інших елементарних частинок. Реєстрація розподілу емітованого γ -випромінювання дає можливість отримати зображення організму людини, яке характеризує «працездатність» окремих органів і

систем за їх метаболічною активністю. Емісійне зображення (сцинтиграма) будується із застосуванням колірного кодування, що дозволяє легко віднайти на ньому «гарячі» та «холодні» осередки фіксації РФП в організмі. Застосування методів емісійної інтроскопії дозволяє виявити порушення в роботі організму на ранньому етапі, коли ще не відбулись помітні структурні зміни. Треба зазначити, що реалізація емісійних методів можлива за умови відтворення повного технологічного циклу – створення ізотопу, виготовлення РФП, наявності апаратів для реєстрації випромінювання та систем візуалізації зображення. Зрозуміло, що такі умови існують далеко не скрізь, та й вартість таких досліджень є чималою. Проте результати емісійних досліджень містять унікальну інформацію, яка може стати вирішальною при уточненні діагнозу. Важливою перевагою цих досліджень є можливість вибору специфічного ізотопу та РФП для дослідження конкретних патологічних станів. Радіоізотопна діагностика знайшла найширше застосування в онкології – це єдиний метод, який дозволяє зафіксувати наявність не тільки пухлин, але й віддалених метастазів шляхом сканування всього тіла. Найчастіше патологічні осередки виявляють із застосуванням γ -випромінюючих ізотопів технецію ^{99m}Tc та йоду ^{131}I . Побудова зображення здійснюється за допомогою гамма-камери, яка була створена в США у 1952 р. під керівництвом Хела О. Ангера. Детектором випромінювання у гамма-камері Ангера є сцинтиляційний монокристал NaI(Tl) , оптично зв'язаний з матрицею фотоелектронних помножувачів. Гамма-камера застосовується як у проєційному (гамма-топографія), так і в томографічному режимі сканування (однофотонна емісійна комп'ютерна томографія – **ОФЕКТ**, *англ. SPECT*).

Найбільш інформативним методом сучасної емісійної інтроскопії є **позитронно-емісійна томографія – ПЕТ** (*англ. PET*). Цей метод розроблявся американськими вченими, починаючи з 1950 р. ПЕТ-зображення фіксує розподіл в організмі біологічно активних сполук, мічених короткоживучими позитронно-випромінюючими ізотопами ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O та ін. Кожна з РФП-композицій призначена для дослідження певного біохімічного процесу на молекулярному рівні – енергетичного метаболізму, транспорту амінокислот, метаболізму білків тощо. Так, в 1979 р. була синтезована «молекула століття» ^{18}F -**ФДГ** або 2- ^{18}F фтор-2-дезоксид-D-глюкоза, за її концентрацією в клітинах оцінюють інтенсивність засвоєння глюкози.

Суть методу ПЕТ полягає у наступному. РФП вводиться в організм людини та долучається до обмінних процесів в ньому, приєднуючись до певних речовин у тканинах та органах. При розпаді ядер радіонуклідів відбувається спонтанне випромінювання позитрона, який анігілює при взаємодії з електроном досліджуваної речовини, внаслідок чого утворюються два протилежно направлених та енергетично рівних (511 кеВ) γ -кванти. Для визначення координат точок анігіляції застосовується складна система протилежно встановлених γ -детекторів, змонтованих на кільцевому каркасі. Людина знаходиться всередині кільцевого сканера стільки часу, скільки потрібно для дослідження певного метаболічного процесу в організмі. Зареєстровані сканером сигнали записуються до ЕОМ. Отримані дані застосовуються для реконструкції ПЕТ-томограми.

Нині у сучасних клініках використовуються комбіновані інтроскопічні системи, які дають можливість максимально використати переваги кожного із застосованих методів досліджень завдяки просторовому суміщенню зображень, різних за діагностичним змістом. Так, комбіноване дослідження ПЕТ + РКТ надає унікальну інформацію одночасно і про структурні особливості досліджуваної області організму, і про обмінні процеси в ній на молекулярному рівні.

Розглянуті рентгенівські та радіонуклідні інтроскопічні методи базуються на застосуванні іонізуючого випромінювання, через що вони мають певні клінічні застереження. Поряд з

ними широко використовуються інтроскопічні методи, які не спричиняють радіаційного впливу на організм та вважаються більш безпечними для пацієнтів. До них відносяться ультразвукові дослідження (ультрасонографія) – **УЗД** (англ. **Ultrasonography**), магніторезонансна томографія – **MPT** (англ. **MRT, MRI**), термографія, оптична, електроімпедансна, магнітоіндукційна томографія тощо.

Ультразвукове дослідження вважається нині одним з найбільш доступних, безпечних та інформативних методів медичної візуалізації. Перші спроби застосування ультразвуку для медичної діагностики почалися у 30-40 роки минулого сторіччя. В 1949 р. американський медик Дж.Уайлд вперше застосував ультразвук для визначення товщини внутрішніх тканин. У 1953 р. шведські дослідники І.Едлер та К.Герц вперше застосували ультразвук в кардіології. Але найбільш вагомий внесок у розвиток медичної УЗ-діагностики зробили шотландські дослідники під керівництвом професора Яна Дональда. Ними були здійснені численні дослідження акустичних характеристик анатомічних препаратів із застосуванням промислового УЗ-обладнання, здійснені спроби диференціальної діагностики хвороб у пацієнтів-волонтерів. Узагальнивши результати цих досліджень, Я.Дональд опублікував у 1958 р. революційну статтю «Дослідження черевних мас імпульсним ультразвуком», яка стала однією з найбільш вагомих праць у галузі медичної діагностичної візуалізації. Саме роботи під керівництвом Я.Дональда поклали початок застосуванню ультразвуку в акушерстві: були визначені розміри ембріону *in vivo* на різних стадіях розвитку, стало можливим дослідження вагітності та виявлення аномалій розвитку плоду. Нині УЗД є найпершим методом дослідження вагітності, широко застосовується в урології та гінекології для виявлення патології сечостатевої системи. Цей метод є одним з основних при дослідженні органів травлення, серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату, а також застосовується в неврології (дослідження патології головного мозку) та офтальмології (виявлення ушкоджень або патології структур ока).

Метод УЗД базується на застосуванні ефектів проникнення та відбиття від внутрішніх структур тіла ультразвукових хвиль частотою від 2 до 50 МГц. Різні тканини по-різному проводять та ослаблюють ультразвукові хвилі. При потраплянні УЗ-хвилі на межу двох середовищ з різним акустичним опором утворюється відбита хвиля (ехо-сигнал), інша ж частина початкової хвилі продовжує розповсюджуватись у новому середовищі, ослаблюючись або поглинаючись ним. Повне відбиття УЗ відбувається на межі «м'яка тканина-повітря», а повне поглинання – на межі «м'яка тканина-кістка». Через це недоступними для УЗ-візуалізації є легені, порожнинні органи та кістки.

Для отримання УЗ-зображення застосовуються УЗ-сканери, обладнані ручними зондами, які прикладаються до поверхні тіла та переміщуються у потрібному напрямку. УЗ-зонд містить п'єзокерамічні сенсори, він є одночасно випромінювачем та приймачем УЗ-хвиль, тобто працює за принципом зворотного або прямого п'єзоефекту. Сприйнята УЗ-зондом послідовність ехо-сигналів (**A**-ехограма) несе інформацію про ступінь відбиття УЗ-хвилі на межах тканин, яка визначається за амплітудами ехо-сигналів. Також можна визначити відстані до меж тканин та товщини шарів тканин: вони пропорційні відповідним часовим проміжкам між ехо-сигналами. Запис сукупності **A**-ехограм дозволяє надалі побудувати двовимірне УЗ-зображення внутрішніх структур організму, яке має вигляд перерізу цих структур в площині зондування. Таке зображення називають **B**-ехограмою.



Ультразвукове дослідження



В-ехограма плода



Рентгенографічне дослідження



Рентгенограма голови



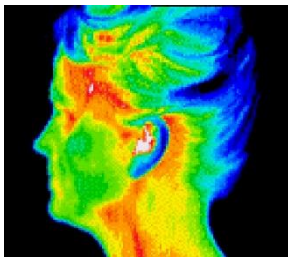
Ангіографічне дослідження



Ангіограма голови



Термографічне дослідження



Термограма голови



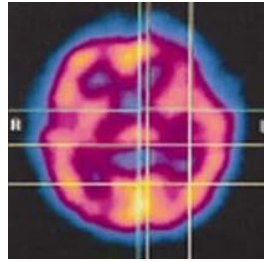
Рентгенівська комп'ютерна томографія



РКТ-зображення голови



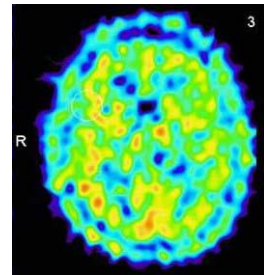
Однофотонна емісійна томографія



ОФЕКТ-зображення голови



Позитронно-емісійна томографія



ПЕТ-зображення голови



Магніторезонансна томографія



МРТ-зображення голови

Отже, метод УЗД дає можливість визначити ступінь ехогенності тканин в зоні дослідження, а також відстані між шарами тканин. В режимі реального часу за серією УЗ-зображень можна дослідити динаміку фізіологічних процесів, оцінюючи рух внутрішніх структур.

Важливим удосконаленням УЗ-діагностики стало застосування доплерівського УЗ-дослідження рухомих середовищ, насамперед крові в судинах. **Допплерографія** базується на застосуванні ефекту Допплера щодо УЗ-хвиль. Суть ефекту полягає у тому, що УЗ-хвилі відбиті від рухомих об'єктів, розповсюджуються зі зміненою частотою: якщо досліджуваний об'єкт наближається до нерухомого УЗ-приймача – частота ехо-сигналу збільшується, якщо віддаляється – частота зменшується. Таким чином утворюється доплерівський зсув частоти – різниця частот зонduючого та ехо-сигналів, яка пропорційна швидкості руху досліджуваного об'єкту. Якщо застосувати такий підхід для дослідження кровообігу в судинах, за доплерівським зсувом частоти можна визначити швидкість руху потоку крові, ударний об'єм крові, зміну частоти серцевих скорочень, спектр швидкостей кровотоку тощо.

Допплерографія реалізується у неперервному та імпульсному режимах зондування, причому останній дозволяє оцінити динаміку кровообігу в конкретній ділянці, визначеній лікарем-діагностом. Для наочного відображення результатів доплерографії

застосовується колірне доплерівське картування: на **B**-ехограмі позначаються ділянки, від яких було зареєстровано доплерівський зсув частоти. Здійснюється динамічне зображення потоків крові в серці та великих судинах, причому червоним кольором відображаються потоки, спрямовані до приймача, а синім – від приймача. Темні відтінки цих кольорів відповідають низьким швидкостям кровотоку, світлі – високим. Отже, доплерівське дослідження дає можливість швидко та безболісно виявляти морфологічні та функціональні порушення у серцево-судинній системі. При енергетичній доплерографії на **B**-ехограмі відображається інтенсивність всіх ехо-сигналів, отриманих від даної області зондування. В цьому режимі можна оцінити кровонаповнення органів і тканин, ступінь їх насиченості судинами, включаючи капіляри. Отже, доплерографія дозволяє проводити масові дослідження серцево-судинної патології, в багатьох випадках витіснивши більш небезпечну для організму рентгенографію з контрастуванням судин. Останнім часом удосконалюються технології зондування та системи формування УЗ-зображень, завдяки чому стає можливою тривимірна візуалізація внутрішніх структур організму. Основним напрямом покращення параметрів УЗ-зображень нині є підвищення їх розрізняювальної здатності, адже ехограми за детальністю поки що не можуть конкурувати зі звичайними рентгенівськими знімками.

Магніторезонансна томографія є методом дослідження внутрішніх органів і тканин, при якому отримання діагностичних зображень відбувається завдяки явищу ядерного магнітного резонансу (ЯМР). Це явище, відкрите американськими вченими Ф.Блохом та Е.Перселлом (Нобелівська премія 1952 р.), може відбуватись при дослідженні різних хімічних речовин, на які діють статичне магнітне поле та радіоімпульси визначеної частоти. Енергія цих імпульсів вибірково поглинається певними ядрами речовини, далі реєструються сигнали від цих резонуючих ядер у вигляді унікального спектру ЯМР. Цікавим було те, що одні й ті ж ядра атомів, перебуваючи в різному «хімічному» оточенні, створювали різні сигнали ЯМР. Таким чином, явище ЯМР відкрило широкі можливості з визначення хімічної будови речовин. Починаючи з 1955 р. публікувались результати ЯМР-досліджень живих клітин та тканинних препаратів тварин, аналіз елементів крові, хімічного обміну води у різних видах клітин та тканин. В 1967р. була досліджена ЯМР-релаксація води в руці живої людини, а також винайдений ЯМР-пристрій для дослідження кровотоку. Незважаючи на ці помітні успіхи, ідея застосування ЯМР для створення зображень живого організму поки що здавалась нездійсненною, хоча від ЯМР-спектроскопії до ЯМР-інтроскопії залишався один крок – знайти спосіб визначення просторової локалізації ЯМР-сигналу в досліджуваному об'єкті.

Магніторезонансна томографія як метод інтроскопії вперше був обґрунтований в 1973р. професором хімії П.Лотербуром (США) у статті «Створення зображення шляхом вимушеної локальної взаємодії: приклади застосування магнітного резонансу». П.Лотербур відкрив, що введення у постійне магнітне поле додаткових градієнтних полів (зі змінним просторовим розподілом індукції) дозволяє отримувати зображення структур, недоступних для спостереження. Зсув резонансної частоти ЯМР, який виникає внаслідок накладення градієнтів магнітних полів в трьох площинах (G_x , G_y , G_z), може бути застосований для зображення двовимірного просторового розподілу протонів.

Подальші дослідження британських фізиків під керівництвом П.Менсфілда увінчалися ще більшим успіхом – у 1977 р. вперше було отримане МРТ-зображення перерізу пальця людини, а в 1978 р. – МРТ-зображення черевної порожнини. П.Менсфілд запропонував найшвидшу та той час методику двовимірного відображення для МРТ. Проте клінічне застосування цих ідей затрималось на десятиріччя. Основною проблемою була недосконала обчислювальна техніка. Нарешті в 2003р. світ віддав належне творцям нового методу МРТ – П.Лотербуру та П.Менсфілду була присуджена Нобелівська премія з

фізіології та медицини. За виняткову цінність для медицини це відкриття було поставлене в один ряд з відкриттям Рентгена.

Значний внесок у створення методу МРТ вніс американський фізик, доктор медицини Р.Дамадьян, який виявив суттєву різницю між параметрами ЯМР-сигналів, отриманих від здорової та злоякісної тканини щурів (дані опубліковані у статті «Визначення пухлини за допомогою ядерного магнітного резонансу», 1971 р.). Незважаючи на скептичне ставлення до своїх робіт, Дамадьян створює перший діючий МРТ-сканер та отримує патент на нього. Вже 3 липня 1977 р. був отриманий перший МРТ-скан – зважене за протонною щільністю зображення одного зрізу тіла людини, на побудову якого знадобилось аж 4 години 45 хвилин! На зображенні чітко вирізнялись серце, легені, стінки грудної клітини. Сучасні томографи дозволяють здійснити повне МРТ-обстеження всього за 20-30 хвилин.



*Доктор Реймонд
Дамадьян проводить
дослідження
за допомогою першого в
світі МРТ-сканера для
всього тіла.
«Пацієнт» – помічник
Дамадьяна, доктор
Ларрі Мінкофф*

В сучасній медичній діагностиці МРТ застосовується для дослідження просторового розподілу в організмі конкретного елементу – водню, протони якого присутні у всіх тканинах організму людини, насамперед у тканинах з великим вмістом води. Розроблені різноманітні модифікації методу МРТ, які дозволяють цілеспрямовано отримати зображення тканин певного типу у вигляді карти розподілу часу релаксації. Для цього потрібно визначити проміжки часу, необхідні для відновлення початкової магнетизації протонів після дії на них радіочастотного імпульсу: це час подовжньої (T_1) або поперечної (T_2) релаксації. Час релаксації безпосередньо пов'язаний з молекулярною структурою тканин. Так, за зменшеним значенням T_1 виявляють середовища з молекулами різних розмірів (наприклад, жирову тканину). Тканини з високим вмістом води матимуть довге T_1 . Саме насиченість тканин протонами водню, залежність магнітних властивостей тканин від молекулярної будови та біохімічних процесів в них дозволяють застосовувати магніторезонансні дослідження в медичній діагностиці. Чому саме протони водню дають такий результат? Загалом, до ЯМР «чутливі» ті ядра, спин яких відмінний від нуля. Такими є ядро атома водню ^1H , ізомери ^3He , ^{13}C , ^{17}O , ^{19}F , ^{23}Na ,

^{31}P , ^{129}Xe . Але не всі вони безпосередньо присутні в організмі та можуть бути виявлені при МРТ без створення спеціальних умов. Багатоядерна МРТ нині існує як дослідницька технологія, проте за нею велике майбутнє, коли можна буде проводити функціональні

інтроскопічні дослідження органів, які погано відображаються при МРТ на основі ^1H (це легені та кістки). Різні ізотопи можна буде застосовувати як контрастні речовини для візуалізації: ^3He – для відображення заповнення повітрям легеневих структур при вдиханні, ^{13}C та ^{129}Xe – для дослідження кровоносних судин, ^{31}P може бути корисним при дослідженні структури кісток та функціональної активності мозку. Проте і нині, коли МРТ здійснюється тільки завдяки наявності в організмі протонів ^1H , існує велика кількість спеціальних методик, які дозволяють досліджувати за зображеннями головний і спинний мозок та інші органи, вимірювати швидкість руху рідин в організмі, вивчати процеси дифузії в тканинах, спостерігати активацію кори головного мозку тощо, а також проводити лікувально-діагностичні маніпуляції під контролем МРТ.

Якість МРТ-зображення багато в чому залежить від технічних можливостей томографів. Насамперед, необхідно створити достатню напруженість постійного магнітного поля. Для цього застосовуються надпровідні електромагніти, що працюють у середовищі рідкого гелію (напруженість поля до 9,4 Тесла), та потужні постійні магніти з неодиму (поле до 0,5 Тесла). Крім цього, застосовуються градієнтні котушки, які додають до потужного постійного магнітного поля більш слабе градієнтне магнітне поле. Це забезпечує задану локалізацію ЯМР-сигналу, тобто задає точне співвідношення між досліджуваною областю та отриманими даними. Дія градієнта, що забезпечує вибір томографічного зрізу, спричиняє вибіркове збудження протонів саме в заданій області. Керування проведенням досліджень та формуванням зображень покладено на спеціалізовану комп'ютерну систему, швидкодія якої також є визначальною, особливо при проведенні функціональних МРТ-досліджень.

Незважаючи на цілу низку переваг методу МРТ, у нього є свої застереження. Вони стосуються як особливих технічних та кліматичних умов, за яких має працювати томограф, так і наявності певних груп пацієнтів, щодо яких МРТ-дослідження не дозволяються (пацієнти з кардіостимуляторами, металевими імплантатами або осколками в тілі та ін.). Отже, серед існуючих нині методів формування діагностичних зображень МРТ є чи не найскладнішим з точки зору технології отримання даних. Цей метод потребує як надійної роботи складного обладнання, так і високої кваліфікації лікарів, які здійснюють вибір методики МРТ-візуалізації та розшифровку отриманих зображень. Унікальність МРТ полягає у можливості одночасної візуалізації структури та функціональних процесів у організмі без застосування іонізуючого випромінювання.

Тепловізійна інтроскопія або термографія (*англ. thermal imaging, thermography*) базується на властивостях багатьох речовин поглинати та відбивати інфрачервоні промені відповідно до хімічного складу, молекулярної структури та агрегатного стану речовини. Організм людини є природним випромінювачем тепла, тому створює навколо себе властиве лише йому температурне поле. Реєстрація просторового розподілу температури на поверхні об'єкту дає можливість сформувати зображення об'єкту з позначенням на ньому ізотермічних зон (як правило, із застосуванням колірного кодування). На термограмі можна виявити осередки запальних процесів, місця порушення кровопостачання у кінцівках, деякі новоутворення. Термографія є методом природної емісійної інтроскопії, повністю безпечним для людини. Проте отримане зображення є, на жаль, проєкційним «температурним відбитком» усіх органів, тому за ним неможливо встановити, де саме в глибині тіла розташований патологічний осередок. Метод термографії є скоріше додатковим методом медичної інтроскопічної діагностики. Проте термографія стала чи не єдиним методом виявлення хворих з підвищеною температурою серед потоку людей в аеропортах, на вокзалах. Це дозволяє запобігти розповсюдженню особливо небезпечних інфекцій, наприклад, нових видів грипу.

Оптична інтроскопія базується на проходженні, заломленні, відбитті оптичного випромінювання (як правило, лазерного інфрачервоного) при взаємодії з мікроструктурами організму, що знаходяться близько до поверхні тіла. Принцип отримання оптичного зображення схожий на ультразвуковий, адже можна зареєструвати і оптичний «ехо-сигнал», відбитий від внутрішніх мікроструктур об'єкту. Особливим різновидом оптичної інтроскопії є **оптична когерентна томографія** (англ. ***Optical coherence tomography***), яка дозволяє отримати детальне зображення приповерхневих структур з розрізненням на рівні 10 мкм. За допомогою цього методу можна отримати найчіткіше зображення сітківки ока.

Очевидно, що навіть визнані методи медичної інтроскопії можуть розрізнятися за доступністю для клінічного застосування, кожному з них притаманні свої діагностичні та технічні обмеження. Проте результати цих досліджень можуть взаємно доповнювати один одного, надаючи лікарям дуже цінну інформацію для різнобічної, комплексної оцінки стану пацієнта. Нині вивчаються можливості клінічного застосування інших інтроскопічних методів –

радіоінтроскопії, фотоакустичної, електроімпедансної, манітоіндукційної інтроскопії.