



MINISTERUL SĂNĂTĂȚII, MUNCII ȘI PROTECȚIEI SOCIALE  
AL REPUBLICII MOLDOVA  
UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
„NICOLAE TESTEMIȚANU”

**Natalia ROTARU**  
**Oxana MALÎGA**  
**Ion CODREANU**

# RADIOLOGIE ȘI RADIOPROTECȚIE

Chișinău • 2020

MINISTERUL SĂNĂTĂȚII, MUNCII ȘI PROTECȚIEI SOCIALE  
AL REPUBLICII MOLDOVA  
UNIVERSITATEA DE STAT DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
*NICOLAE TESTEMIȚANU*



**Natalia ROTARU, Oxana MALÎGA, Ion CODREANU**

# RADIOLOGIE ȘI RADIOPROTECȚIE

Chișinău • 2020  
Centrul Editorial-Poligrafic *Medicina*

Aprobat de Consiliul Metodic Central al USMF *Nicolae Testemițanu*  
(proces-verbal nr. 2 CMC din 26.11.2019)

***Autori:***

*Natalia Rotaru* – șef Catedra de radiologie și imagistică USMF „Nicolae Testemițanu”, dr.hab.șt.med.,

*Oxana Malîga* – conferențiar universitar, Catedra de radiologie și imagistică USMF „Nicolae Testemițanu”, dr.șt.med.,

*Ion Codreanu* – conferențiar universitar, Catedra de radiologie și imagistică USMF „Nicolae Testemițanu”, dr.hab.șt.med.

Manualul este destinat studenților anului III cu programul de studii Medicină și studenților cu programul de studii de licență la specialitate Tehnologie radiologică.

***Recenzenți:***

– *Florin Bîrsășteanu* – prof. univ., Dr., Șef Disciplina Radiologie și Imagistica UMF Victor Babeș Timișoara, România, Președintele Societății Române de Radiologie și Imagistica medicală,

– *Nadejda Pisarenco* – dr. med., conf.univ., Catedra de radiologie și imagistică USMF „Nicolae Testemițanu”.

***Redactor:***

Ala Rusnac

---

Desacrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții

***Rotaru, Natalia.***

Radiologie și radioprotecție / Natalia Rotaru, Oxana Malîga, Ion Codreanu; Ministerul Sănătății, Muncii și Protecției Sociale al Republicii Moldova, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie “Nicolae Testemițanu”. – Chișinău: Medicina, 2020 (Tipogr. “Print-Caro”). – 242 p.: fig. color, tab.

Bibliogr.: p. 241-242 (24 tit.). – 360 ex.

ISBN 978-9975-82-177-3.

[615.849+616-073.7]:614.876(075.8)

R 84

---

# CUPRINS

LISTA ABREVIERILOR .....	6
INTRODUCERE .....	7
I. METODELE IMAGISTICE DE INVESTIGAȚIE .....	9
1.1. NOȚIUNI DE RADIOFIZICĂ .....	9
1.1.1. Unde mecanice și electromagnetice .....	9
1.1.2. Natura radiațiilor Roentgen.....	12
1.1.3. Construcția și principiul de funcționare a tubului radiogen.....	15
1.1.4. Proprietățile razelor X.....	21
1.1.5. Radiații secundare sau împrăștiate .....	24
1.2. PRINCIPIILE DE FORMARE ȘI CRITERIILE DE APRECIERE A IMAGINII RADIOLOGICE. METODELE RADIOLOGICE DE INVESTIGAȚIE .....	26
1.2.1. Proprietățile imaginii radiologice .....	27
1.2.2. Legile formării imaginii radiografice.....	30
1.2.3. Radioscopia și radiografia.....	37
1.2.4. Niveluri de contrastare naturală .....	39
1.2.5. Substanțe de contrast folosite pentru investigații radiologice ....	40
1.2.6. Tomografia liniară.....	44
1.2.7. Tomosinteza .....	46
1.2.8. Tomografia computerizată .....	47
1.2.9. Radiologia intervențională .....	51
1.3. IMAGISTICA PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ. NOȚIUNI GENERALE PRINCIPALE.....	53
1.4. ULTRASONOGRAFIA .....	57
1.5. MEDICINA NUCLEARĂ .....	67
1.5.1. Structura atomului și nucleului .....	67
1.5.2. Natura și proprietățile radiației alfa, beta, gamma.....	68
1.5.3. Radionuclizi și preparate radiofarmaceutice.....	71
1.5.4. Metode clinice de diagnosticare cu radionuclizi.....	75
II. RADIOPROTECȚIE.....	86
2.1. DOZIMETRIE .....	86
2.1.1. Dozimetria. Doza absorbită, doza biologică (echivalentă) și doza efectivă. Unități de măsură pentru radiații.....	86
2.2. RADIOPROTECȚIE.....	90
2.2.1. Metode de radioprotecție. Principiile de bază ale radioprotecției.....	90

III. RADIOIMAGISTICA APARATULUI RESPIRATOR.....	99
3.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ A APARATULUI RESPIRATOR. METODELE RADIOLOGICE DE INVESTIGAȚIE A APARATULUI RESPIRATOR.....	99
3.1.1. Radiografia cutiei toracice .....	99
3.1.2. Anatomia radiologică normală a aparatului respirator.....	104
3.1.3. Alte metode imagistice în evaluarea aparatului respirator.....	109
3.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ A APARATULUI RESPIRATOR	112
3.2.1. Opacitatea în câmpul pulmonar .....	112
3.2.2. Opacitatea totală și subtotală .....	114
3.2.3. Opacitate limitată în câmpul pulmonar.....	116
3.2.4. Opacitate rotundă în câmpul pulmonar.....	118
3.2.5. Opacitate inelară în câmpul pulmonar .....	119
3.2.6. Opacitate nodulară în câmpul pulmonar .....	120
3.2.7. Hipertransparența în câmpul pulmonar.....	122
3.2.8. Dereglări de permeabilitate bronșică .....	125
3.2.9. Modificări ale desenului pulmonar .....	126
3.2.10. Modificările hilului pulmonar .....	128
IV. INVESTIGAȚIA RADIOIMAGISTICĂ A SISTEMULUI CARDIOVASCULAR .....	130
4.1. METODELE RADIOLOGICE ÎN EXPLORAREA CORDULUI.....	130
4.1.1. Radiografia standard a cutiei toracice .....	130
4.1.2. Investigații radiologice cu substanță de contrast .....	143
4.1.3. Tomografia computerizată în regim angiografic (angio-CT) ...	144
4.2. ALTE METODELE IMAGISTICE ÎN EXPLORAREA CORDULUI....	145
4.2.1. Ecocardiografia .....	145
4.2.2. Investigația imagistică prin rezonanța magnetică (IRM) a cordului .....	149
4.2.3. Metodele medicinei nucleare în explorarea cordului.....	151
V. RADIOIMAGISTICA TUBULUI DIGESTIV.....	153
5.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ ȘI METODELE RADIOLOGICE DE EXAMINARE A TUBULUI DIGESTIV .....	153
5.1.1. Radiografia abdominală pe gol .....	153
5.1.2. Simptomele radiologice patologice în cazul abdomenului acut .....	155
5.1.3. Radiografia organelor tubului digestiv cu substanță de contrast .....	156
5.1.4. Anatomia radiologică normală a compartimentelor tubului digestiv.....	161
5.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ ÎN PATOLOGIA TUBULUI DIGESTIV .....	169
5.2.1. Modificările funcționale ale organelor tubului digestiv.....	169
5.2.2. Modificările morfologice ale organelor tubului digestiv .....	171

5.2.3. Modificările patologice caracteristice diferitor compartimente ale tubului digestiv .....	173
<b>VI. IMAGISTICA SISTEMULUI HEPATO-BILIAR .....</b>	<b>185</b>
6.1. EVALUAREA IMAGISTICĂ A VEZICII BILIARE ȘI A CĂILOR BILIARE .....	185
6.1.1. Investigația radiologică a sistemului biliar .....	186
6.1.2. Investigația ultrasonografică a sistemului biliar .....	188
6.1.3. Alte metode imagistice utilizate pentru explorarea sistemului biliar .....	189
6.2. EVALUAREA IMAGISTICĂ A FICATULUI .....	192
6.2.1. Evaluarea ultrasonografică a ficatului .....	192
6.2.2. Alte metode imagistice în explorarea ficatului .....	194
<b>VII. IMAGISTICA SISTEMULUI OSTEOARTICULAR .....</b>	<b>197</b>
7.1. EXAMINAREA RADIOLOGICĂ A SISTEMULUI OSTEOARTICULAR .....	197
7.1.1. Anatomia radiologică normală .....	197
7.1.2. Metodele radioimagistice de investigație ale sistemului osteoarticular .....	200
7.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ ELEMENTARĂ .....	205
7.2.1. Semiologia radiologică elementară osoasă .....	205
7.2.2. Modificări de formă și dimensiuni ale osului .....	206
7.2.3. Modificări de structură osoasă .....	208
7.2.4. Modificările periostului .....	212
7.2.5. Semiologia radiologică elementară articulară .....	213
7.2.6. Semiologia radiologică elementară a țesuturilor moi .....	215
7.3. DIAGNOSTICUL RADIOLOGIC ÎN TRAUMATISMUL OSTEOARTICULAR .....	217
7.3.1. Diagnosticul radiografic al fracturilor .....	217
7.3.2. Particularitățile fracturilor în unele cazuri speciale .....	224
7.3.3. Diagnosticul radiologic în traumatismul articular .....	227
<b>VIII. EVALUAREA IMAGISTICĂ A SISTEMULUI URINAR .....</b>	<b>229</b>
8.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ ȘI METODELE IMAGISTICE DE EXAMINARE A SISTEMULUI URINAR .....	229
8.1.1. Anatomia radiologică normală a aparatului reno-urinar .....	229
8.1.2. Metode imagistice de explorare a rinichilor și a căilor excretorii .....	232
8.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ A AFECȚIUNILOR SISTEMULUI URINAR .....	239
8.2.1. Modificările morfologice ale rinichilor .....	239
8.2.2. Modificările funcționale ale sistemului urinar .....	246
<b>BIBLIGRAFIA .....</b>	<b>247</b>

## LISTA ABREVIERILOR

<b>ADN</b>	– acidul dezoxiribonucleic
<b>ARN</b>	– acidul ribonucleic
<b>AD</b>	– atriu drept
<b>AS</b>	– atriu stâng
<b>CT</b>	– tomografia computerizată (din engleza ”computed tomography”)
<b>IRM</b>	– imagistica prin rezonanța magnetică
<b>PET</b>	– Positron Emission Tomography, tomografie cu emisie de pozitroni
<b>SPECT</b>	– Single Photon Emission Computer Tomography, tomografie computerizată cu emisie de foton unic
<b>UH</b>	– unitatea Hounsfield
<b>UIV</b>	– urografia intravenoasă
<b>USG</b>	– ultrasonografia
<b>VD</b>	– ventriculul drept
<b>VS</b>	– ventriculul stâng

## INTRODUCERE

Imagistica medicală este ramura medicinei care se ocupă cu studierea organelor și a sistemelor corpului uman cu scop de diagnosticare, control al tratamentului și profilaxie a proceselor patologice, folosind unde electromagnetice.

Pe de altă parte și pornind de la denumire, imagistica medicală poate fi definită ca diagnosticul prin imaginea, vizualizarea structurilor normale și patologice ale corpului uman.

De-a lungul secolelor, medicii au putut doar să viseze la posibilitatea de a vizualiza schimbările patologice în organismul pacientului. Prima posibilitate de a realiza acest vis a apărut abia în anul 1895, odată cu descoperirea razelor X de către W.C. Roentgen. Radiologia rămânea singura metodă de vizualizare până-n anii '50 ai secolului XX, când a început utilizarea în medicină a ultrasunetului și a metodelor medicinei nucleare. Termenul "imagistica medicală" propriu-zis a apărut atunci când a devenit posibilă prelucrarea digitală a imaginii.

Actualmente, imagistica medicală include 5 părți componente, și anume:

1. Radiologia
2. Ultrasonografia
3. Imagistica prin rezonanța magnetică
4. Medicina nucleară
5. Termografia (în prezent practic nu se folosește și are mai mult o importanță istorică).

Diferența între aceste ramuri (părți componente) rezidă în energia (unde), a cărei utilizare stă la baza obținerii imaginii. Radiologia, imagistica prin rezonanța magnetică, medicina nucleară și termografia utilizează undele electromagnetice propriu-zise, iar ultrasonografia – undele acustice mecanice.

Fiecare ramură a imagisticii medicale, utilizând unul și același tip de unde electromagnetice, include diferite metode și tehnici de investigație, are atât indicațiile și contraindicațiile sale, cât și terminologie medicală specifică. Diferența principală dintre undele electromagnetice, utilizate în diferite ramuri ale imagisticii medicale, este frecvența și, respectiv, lungimea de undă. Unele din aceste unde electromagnetice au acțiune ionizantă, alte nu.

Actualmente, este imposibil de a imagina practica medicală cotidiană



fără utilizarea metodelor imagistice cu scopul stabilirii diagnosticului și controlului eficacității tratamentului. Cunoașterea aspectelor principale ale metodelor imagistice de investigație este indispensabilă pentru activitatea succesivă și eficace a fiecărui medic, independent de specialitatea acestuia.

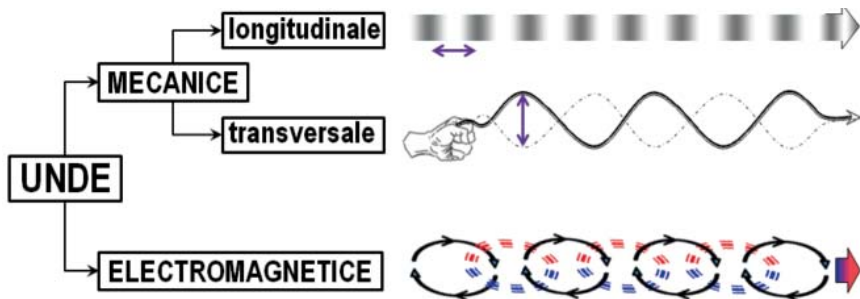
Medicii din trecut au avut la dispoziție doar metode de examinare clinică a pacientului. Dezvoltarea furtunoasă a diferitor metode imagistice a adus la o altă extremitate, când studierea anamneșticului și examinarea clinică a pacientului sunt declarate inutile, iar decizia diagnostică și tactica de tratament se bazează doar pe concluzii, făcute de către medicul imagist în urma investigațiilor imagistice efectuate, ceea ce nu este corect. Doar etapa “pre-instrumentală”, cu formularea întrebărilor de bază în cazul fiecărui pacient concret, permite alegerea metodei optimale de investigație (care va da un răspuns cât mai amplu și rapid, fiind, în același timp, cât mai ușor accesibilă pentru pacient, cât mai puțin ofensivă și cât mai puțin costisitoare). Și numai combinarea datelor clinice, anamneștice și celor obținute în urma investigațiilor paraclinice, inclusiv cele imagistice, va duce la o concluzie diagnostică și terapeutică corectă.

# I. METODE IMAGISTICE DE INVESTIGAȚIE

## 1.1. NOȚIUNI DE RADIOFIZICĂ

### 1.1.1. Unde mecanice și electromagnetice

Diverse metode de investigație implică utilizarea și transportul de energie sub formă de oscilații sau unde, care pot varia în funcție de amplitudine (înălțimea oscilațiilor), lungimea de undă (distanța dintre două oscilații) sau frecvență (numărul de oscilații pe secundă). În general, undele reprezintă propagarea în spațiu și în timp a unei perturbații, transportând energie din regiunea unde are loc perturbația înspre spațiul înconjurător. Deși diverse tipuri de unde au proprietăți fizice diferite, toate respectă un principiu de bază, și anume ”transportarea energiei fără transportarea materiei”. Există două clase mari de unde: unde mecanice și unde electromagnetice (figura 1.1).

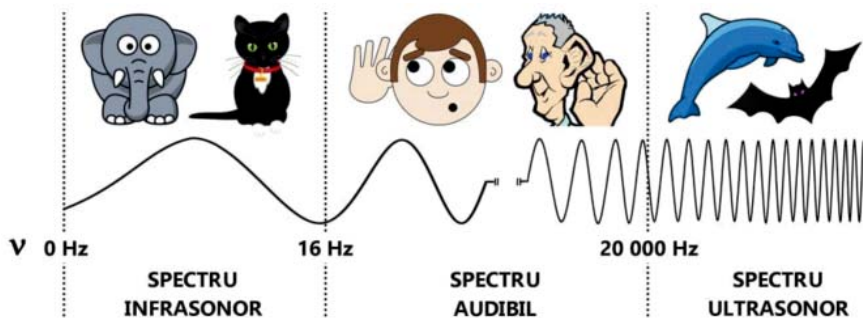


**Figura 1.1.** Reprezentare schematică a undelor mecanice și electromagnetice. Undele longitudinale implică mișcarea ondulatorie a particulelor care este paralelă cu direcția propagării undei, contrar undelor transversale, unde mișcarea ondulatorie este perpendiculară pe direcția propagării undei. Undele electromagnetice reprezintă o succesiune a unui câmp electric și magnetic, care se generează unul pe celălalt.

**Undele mecanice** necesită materie fizică continuă pentru a se propaga, oscilațiile fiind transmise direct de la o particulă la altă particulă din imediata vecinătate. Deoarece transmiterea oscilațiilor sub formă de unde este strâns legată de forțele elastice dintre particulele mediului, undele mecanice mai sunt numite unde elastice. În funcție de direcția de oscilație, undele mecanice pot fi divizate la rândul lor în unde longitudinale și unde transversale.

- În cadrul undelor *longitudinale*, mișcarea ondulatorie a particulelor este paralelă cu direcția propagării undelor, generând variații de presiune a mediului în care se propagă prin dilatații și compresii succesive (figura 1.1). Un exemplu clasic al acestui tip de unde îl reprezintă undele acustice, al căror spectru este prezentat în figura 1.2. Urechea umană percepe undele acustice care au frecvența între aproximativ 16-20.000 Hz, numite și unde sonore. Undele acustice care au frecvența mai mică de 16 Hz se numesc infrasunete, iar cele cu frecvența mai mare de 20 000 Hz se numesc ultrasunete. În imagistica medicală ultrasunetele stau la baza principiului ultrasonografiei și examenului Doppler.
- În cazul undelor *transversale*, mișcarea ondulatorie a particulelor este perpendiculară pe direcția propagării undelor. Procesul poate fi mai ușor perceput dacă ne imaginăm propagarea undelor de-a lungul unei coarde, unde mișcarea ondulatorie a materiei coardei este perpendiculară cu direcția propagării undelor (figura 1.1).

De notat faptul că viteza propagării undelor mecanice variază semnificativ în funcție de densitatea și elasticitatea mediului în care se propagă. Modificarea vitezei de propagare a unei unde în diverse medii împică la rândul său și modificarea lungimii de undă, frecvența rămânând relativ constantă (cu condiția că sursa și receptorul sunt în repaus relativ). De aceea, pentru descrierea parametrilor unei unde se preferă frecvența acesteia, iar în cazul când este utilizată lungimea de undă trebuie precizat și mediul de propagare.



**Figura 1.2.** Undele acustice și spectrul acestora. Undele care au frecvența mai mică de 16 Hz se numesc infrasunete, cele care au frecvența între aproximativ 16 și 20 000 Hz reprezintă undele sonore, iar cele cu frecvența mai mare de 20 000 Hz se numesc ultrasunete.

**Undele electromagnetice**, spre deosebire de cele mecanice, nu au nevoie de vreun mediu pentru a se propaga la distanțe foarte mari, a călători prin spațiu sau a trece prin materie. Fenomenul este posibil datorită faptului că un câmp electric care oscilează în spațiu generează în imediata vecinătate a lui un câmp magnetic fluctuant. Acest câmp magnetic care fluctuează generează apariția într-un punct vecin al unui câmp electric care la rândul lui fluctuează. Propagarea energiei sub formă de oscilații electromagnetice are loc astfel din aproape în aproape prin apariția celor două câmpuri care se generează unul pe celălalt atunci când variază în intensitate, fără a necesita prezența de materie fizică continuă (figura 1.1). Undele electromagnetice sunt, de asemenea, divizate în mai multe categorii în funcție de benzile de frecvență în cadrul "spectrului" electromagnetic (figura 1.3). Deoarece undele electromagnetice se propagă în vid cu viteza luminii ( $c$ ), relația dintre lungimea de undă ( $\lambda$ ) și frecvență ( $\nu$ ) în acest caz este redată de formula:  $\lambda = c / \nu$ .

Undele sau radiațiile electromagnetice sunt emise și absorbite în natură sub formă de cuante, care poartă denumirea de fotoni. Fotonii nu au masă de repaus și transportă o cantitate de energie. Cu cât frecvența undelor crește, cu atât este mai mare energia și penetrabilitatea fotonilor. În funcție de energia transportată și efectele asupra materiei, radiațiile electromagnetice se clasifică în neionizante și ionizante (figura 1.3). Radiațiile neionizante ocupă prima parte a spectrului electromagnetic și nu au suficientă energie ca prin interacțiunea cu materia vie să rupă electronii din atomi sau legăturile dintre molecule. Radiațiile ionizante, pe de altă parte, au suficientă energie pentru a ioniza materia cu care interacționează. Efectele ionizante pot apărea când energia fotonilor depășește 5 eV, ceea ce în cazul radiațiilor electromagnetice corespunde lungimilor de undă mai mici de 200 nm. Pentru simplificare, se consideră ionizante radiațiile X și gamma. Undele ultraviolete din imediata vecinătate a spectrului razelor X posedă, de asemenea, suficientă energie pentru a produce unele efecte ionizante și modificări fotochimice care pot iniția o serie de efecte biologice.

În imagistica medicală undele electromagnetice stau la baza multor modalități imagistice precum investigația prin rezonanță magnetică (undele radio), termografia (undele infraroșii), radiografia, radioscopia, tomografia liniară și computerizată, mamografia, tomosinteza (razele X), scintigrafia, tomografia computerizată cu emisie de foton unic sau SPECT, precum și tomografia cu emisie de pozitroni sau PET (razele gamma).

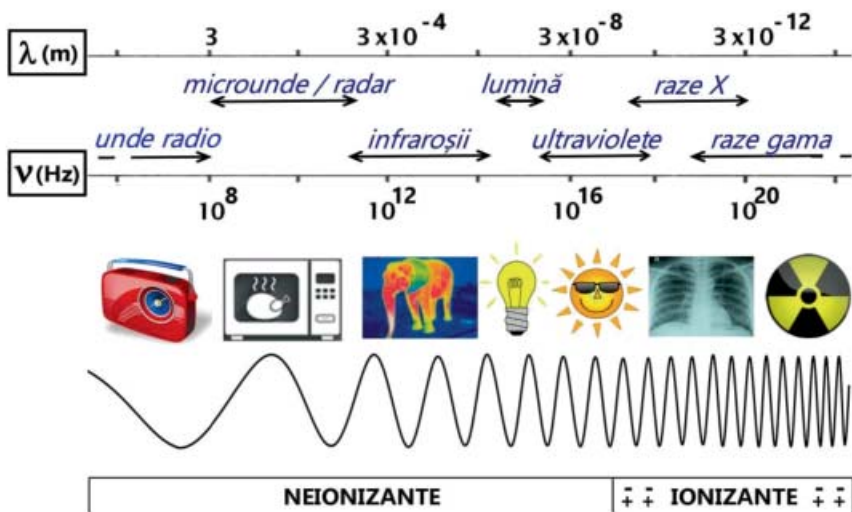


Figura 1.3. Principalele tipuri de unde electromagnetice și spectrul acestora.

### 1.1.2. Natura radiațiilor Roentgen



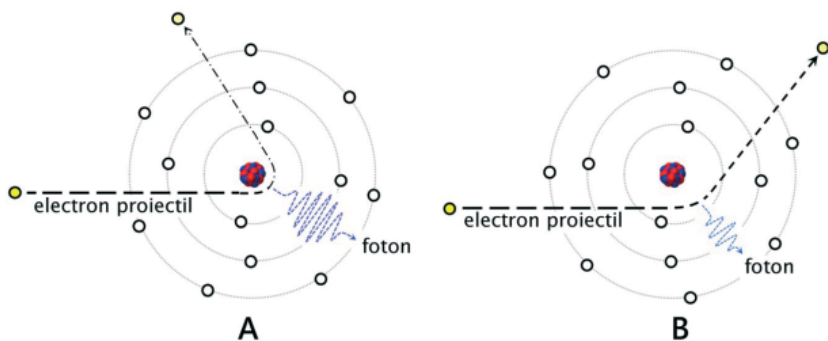
Figura 1.4. Wilhelm Conrad Roentgen.

Radiația (razele) Roentgen sunt radiații electromagnetice cu lungimi de undă mici cuprinse între 0,01 și 100 Å (ångström), un angstrom reprezentând a 10 000-a parte dintr-un micron sau  $10^{-10}$  m. Acest tip de raze a fost descoperit în anul 1895 de fizicianul german Wilhelm Conrad Roentgen (figura 1.4), descoperire pentru care în anul 1901 a fost acordat primul Premiu Nobel în domeniul fizicii. Roentgen le-a numit raze X, deoarece natura lor era necunoscută. Ulterior acestea au fost numite și raze (radiații) Roentgen sau Röntgen, în cinstea fizicianului care le-a descoperit.

Puterea de penetrare a razelor X este invers proporțională cu lungimea de undă. Cu cât lungimea de undă a razelor este mai mică (sau frecvența mai mare), cu atât puterea de penetrare a acestora este mai mare. Razele X cu lungimi de undă mai lungi, apropiate de banda razelor ultraviolete ( $\lambda > 1\text{\AA}$ ), sunt cunoscute sub denumirea de **raze X moi**, având energie și putere de penetrare redusă. Razele X cu lungimi de undă mai scurte, apropiate de banda radiațiilor gamma ( $\lambda < 1\text{\AA}$ ), se numesc **raze X dure**, având energie și putere de penetrare mai înaltă.

Razele X pot fi produse când un fascicul de electroni în mișcare foarte rapidă este frânat brusc, de obicei la lovirea unei ținte metalice, iar energia cinetică a electronilor este transformată în unde electromagnetice cu frecvențe ale undelor suficient de înalte pentru a atinge spectrul razelor X (figura 1.3). În funcție de modul de producere, radiațiile X se împart în radiații de frânare și radiații caracteristice:

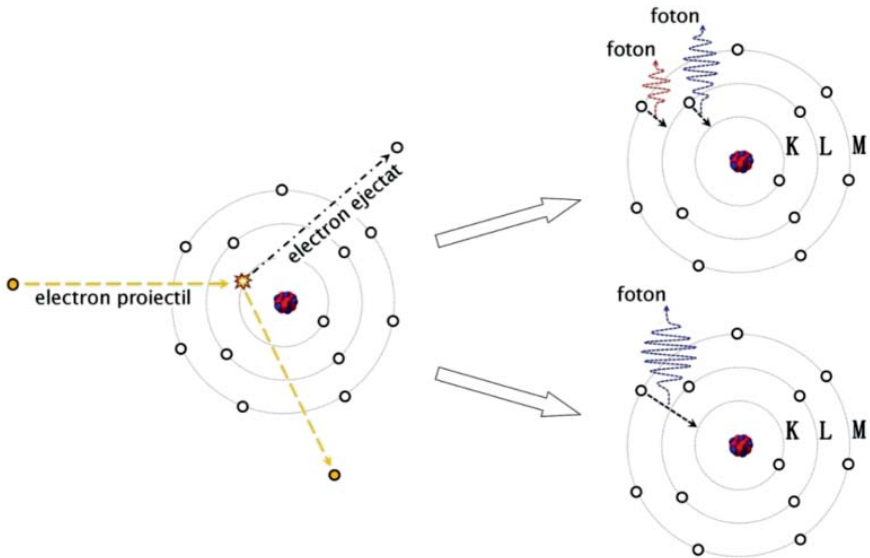
- **Radiația X de frânare** se produce prin frânarea sau decelerarea bruscă a electronilor care au fost puternic accelerați. Când un astfel de electron proiectil (numit și electron incident) cu viteză mare trece prin învelișul electronic al atomului (învingând forțele electrice de repulsie exercitate de electronii atomului), acesta începe să fie atras de nucleu, care are sarcină pozitivă și o masă mult mai mare ca cea a electronului (figura 1.5).



**Figura 1.5.** Frânarea bruscă a electronilor accelerați datorită atracției de către nucleu este însoțită de transformarea energiei cinetice în fotoni, iar radiația emisă este numită radiație de frânare. Energia fotonilor emiși variază în funcție de energia inițială a electronilor, traiectul acestora și distanța apropierii de nucleu, de aceea radiația de frânare este policromatică (polienergetică).

Această atracție frânează electronul și îl deviază de la direcția inițială spre nucleu. Majoritatea electronilor incidenți au suficientă energie pentru a-și continua calea, însă în procesul frânării o porțiune a energiei cinetice a acestora este emisă sub forma unei unde electromagnetice (foton). Cu cât electronul incident trece mai aproape de nucleu, cu atât frânarea și devierea acestuia sunt mai puternice, iar energia fotonului emis este mai mare (figura 1.5 A). În cazul în care electronul incident este stopat sau lovește nucleul, toată energia electronului este transferată fotonului emis. Din contra, cu cât electronul incident trece mai departe de nucleu, cu atât frânarea și devierea acestuia spre nucleu sunt mai slabe, iar energia fotonului emis este mai mică (figura 1.5 B). Astfel, energia fotonilor emiși în procesul de frânare a electronilor poate varia între aproape 0 și energia maximă egală cu energia electronilor, de aceea spectrul radiației emise este continuu. Fotonii cu energie suficient de mare ( $\lambda < 100 \text{ \AA}$ ) reprezintă raze X, iar radiația emisă prin acest mecanism este numită radiație de frânare. În literatură acest tip de radiații mai este numit *Bremsstrahlung*, cuvânt împrumutat din limba germană pentru definirea radiației de frânare. Deoarece energia, lungimea de undă și frecvența fotonilor emiși variază în funcție de energia inițială a electronilor accelerați, de traiectul acestora, de unghiul de incidență și de distanța apropierii de nucleu în timpul frânării, radiația de frânare este o radiație policromatică (polienergetică).

- Radiația **caracteristică** este emisă în urma rearanjării electronilor în jurul atomului, când un electron de pe o orbită periferică (cu energie potențială mare) "cade" pe o orbită mai apropiată de nucleu (cu energie potențială mai mică), iar diferența de energie este emisă sub forma unui foton. Dacă un electron de pe un nivel interior al atomului este scos de pe orbită în urma ciocnirii cu un electron proiectil, locul rămas vacant va fi ocupat de unul din electronii de pe orbitele exterioare (figura 1.6). Procesul este însoțit de emisia unui sau câtorva fotoni, a căror energie corespunde diferenței de energie dintre nivelele electronice între care s-a efectuat tranziția (figura 1.6). Fotonii emiși prin acest tip de radiație au anumite lungimi de undă (frecvențe) bine precizate, care sunt caracteristice diferenței de energie dintre nivelele electronice și sunt specifice pentru fiecare element chimic. Deoarece proprietățile razelor produse (energia, lungimea de undă, frecvența) sunt caracteristice pentru un anumit element chimic, razele X produse prin acest mecanism sunt numite raze X caracteristice.



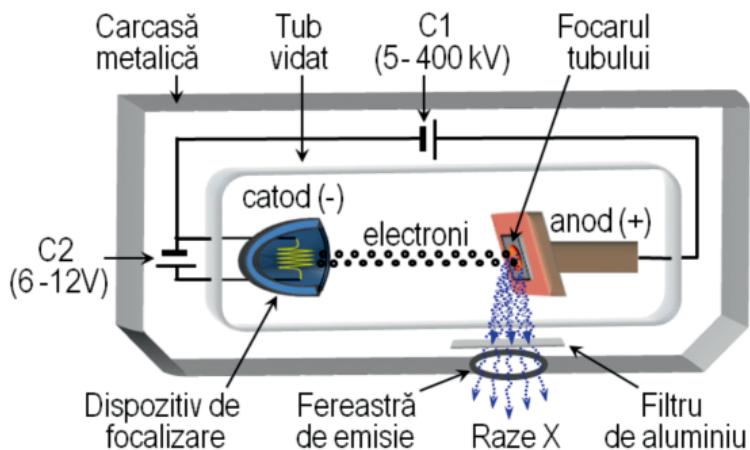
**Figura 1.6.** Rearanjarea electronilor în urma ejectării unui electron de pe orbitele interioare este asociată cu emisie de fotoni. Energia fotonilor emiși este egală cu diferența de energie dintre nivelele electronice, fiind unică sau caracteristică pentru fiecare element chimic, iar radiația emisă este numită radiație caracteristică. K, L și M reprezintă nivelele electronice, saltul unui electron pe orbita cea mai apropiată de nucleu (K) fiind asociat cu emisia celei mai mari cantități de energie.

### 1.1.3. Construcția și principiul de funcționare a tubului radiogen

În imagistica medicală razele X sunt produse în tubul radiogen numit și tub generator de radiații sau tub Roentgen. Obținerea lor implică două etape, prima constând în obținerea unui fascicul de electroni accelerați pentru a avea o energie suficient de mare. A doua etapă constă în frânarea bruscă a electronilor care au fost accelerați prin lovirea de o țintă metalică, energia lor cinetică transformându-se în unde electromagnetice (fotoni) cu lungimea de undă în spectrul razelor X.

Primele tuburi radiogene constau dintr-un tub de sticlă parțial vidat în care erau montați 2 electrozi prin care trecea curent electric. Acest tip de tub producea doar raze X moi cu energie relativ scăzută, fiind cunoscut și ca tubul Crookes. O îmbunătățire semnificativă a reprezentat inventarea tubului cu catod încălzit de către William David Coolidge în 1913, motiv pentru care acest tip de tub este numit și tubul Coolidge.





**Figura 1.7.** Elementele de bază ale tubului radiogen. C1 – circuit de înaltă tensiune între catod și anod pentru crearea diferenței de potențial și accelerarea electronilor către anod. C2 – circuit de tensiune joasă pentru încălzirea filamentului catodului.

O schemă a principalelor componente ale tubului radiogen este redată în figura 1.7. Acesta reprezintă un tub vidat ce conține doi electrozi numiți catod și anod, care sunt uniți printr-un circuit electric de înaltă tensiune.

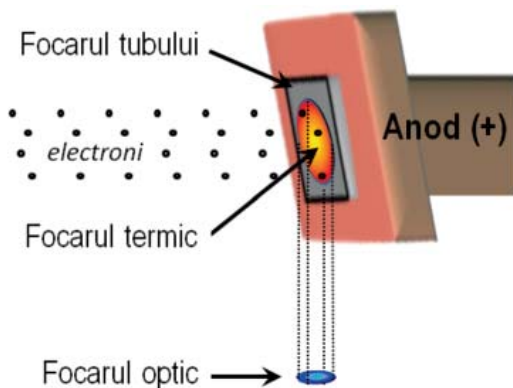
- **Catodul** (polul negativ) reprezintă sursa de electroni și este format dintr-un *filament spiralat* de tungsten (wolfram), care rezistă până la o temperatură de  $3400^{\circ}\text{C}$ , și un *dispozitiv de focalizare*. Filamentul este conectat la un circuit electric de joasă tensiune (6-12 volți), iar în momentul încălzirii până la incandescența tungstenului în jurul filamentului se formează un nor de electroni, care sunt apoi accelerați spre anod. Intensitatea curentului de încălzire a filamentului se măsoară în miliamperi și este direct proporțională cu numărul electronilor produși. Aceasta poate fi ajustată prin intermediul unui transformator pentru reglarea cantității de raze X emise. Dispozitivul de focalizare are formă semicilindrică și este, de regulă, compus din molibden. Fiind parte componentă a polului negativ, dispozitivul de focalizare are sarcină negativă și are menirea de a respinge electronii din jurul filamentului, facilitând direcționarea acestora spre anod (figura 1.7).

- **Anodul** (polul pozitiv) reprezintă componentul tubului unde sunt atrași și frânați electronii. Anodului îi revin 2 funcții principale: convertirea energiei cinetice a electronilor în raze X și disiparea căldurii create în acest proces. Anodul este format din placa sau "pastila" lovită de electroni,

care este încorporată într-un bloc metalic conectat la un sistem de răcire. Placa sau "pastila" ce reprezintă ținta electronilor și este situată în central anodului poartă denumirea de *focus* sau *focarul tubului*. Este cunoscut faptul că formarea razelor X depinde atât de energia electronilor, cât și de numărul atomic ( $Z$ ) al materialului țintei lovite: cu cât este mai mare numărul atomic, cu atât atracția nucleului și puterea de frânare a electronilor crește. Tungstenul ( ${}_{74}\text{W}$ ) este frecvent utilizat ca țintă pentru electroni, deoarece în afara faptului că are un număr atomic mare ( $Z=74$ ), este rezistent la temperaturi foarte înalte. Astfel, în timpul bombardării cu electroni temperatura pastilei de tungsten poate atinge  $2700^{\circ}\text{C}$ , aceasta rezistând însă până la  $3400^{\circ}\text{C}$ . În prezent în acest scop este utilizat și un aliaj de tungsten ( ${}_{74}\text{W}$ ) și reniu ( ${}_{75}\text{Re}$ ) ce oferă o rezistență mai mare la uzură. Focarul tubului este tipic conectat de o placă de molibden sau cupru ce are funcția de a conduce căldura spre un sistem de răcire, care poate consta din diverse fluide sau blocuri de grafit capabile să înmagazineze cantități mari de căldură. Focarul tubului poate, de asemenea, varia în funcție de scopul și procedurile destinate. De exemplu, "pastile" din molibden ( ${}_{42}\text{Mo}$ ) sau rodiu ( ${}_{45}\text{Rh}$ ) sunt preferate în mamografie, razele X emise având calitățile optime necesare acestui tip de investigație.

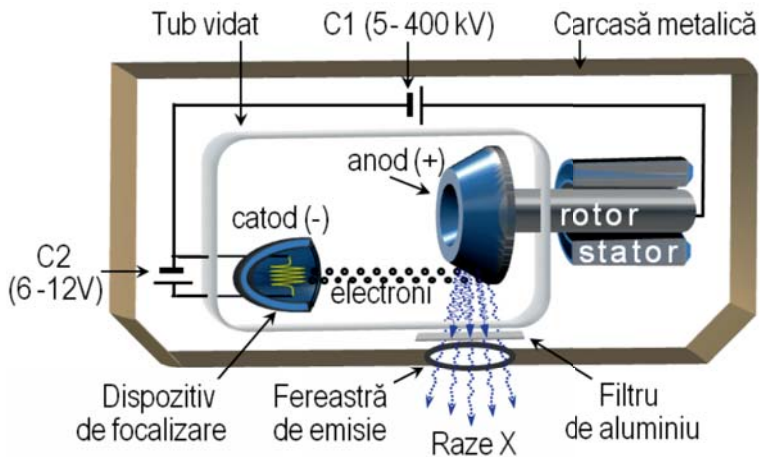
Catodul și anodul sunt unite prin intermediul unui circuit electric, iar diferența de potențial creată accelerează electronii emiși de filamentul catodului către anod. În timpul lovirii anodului, energia cinetică a electronilor accelerați este transformată în unde electromagnetice (radiații). În funcție de modul prin care are loc această transformare, radiațiile emise pot fi radiații de frânare și radiații caracteristice, principiile de bază fiind expuse anterior (figurile 1.5, 1.6). Cu cât tensiunea circuitului electric (care se măsoară în kilovolți) este mai mare, cu atât accelerarea electronilor și energia cinetică a acestora sunt mai mari, iar penetrabilitatea razelor X produse mai puternică. Tensiunea între catod și anod poate fi ajustată prin intermediul unui transformator pentru reglarea capacității de penetrare a razelor X emise. Adicional, în timpul lovirii țintei metalice o mare parte a electronilor accelerați vor cauza excitarea electronilor din orbitele exterioare sau nu vor fi frânați brusc de un singur nucleu pentru a emite un singur foton cu energie suficient de înaltă, energia acestora transformându-se în căldură. Ca rezultat peste 97% din energia utilizată de un tub radiogen se transformă în căldură, o cantitate mică se pierde și doar aproximativ 1% se transformă în raze X, cea mai mare parte a căroră sunt radiații de frânare.

Panta anodului este înclinată la 7-20° către fereastra de emisie, pentru a da o orientare convenabilă fascicului de raze X (figura 1.7). Această înclinare contribuie, de asemenea, la micșorarea focarului optic și creșterea netității imaginilor obținute. Focarul optic nu trebuie însă confundat cu focarul tubului sau cu focarul termic, o reprezentare schematică a acestora fiind redată în figura 1.8. **Focarul termic** reprezintă regiunea sau locul de pe focarul tubului care este lovit direct de fascicului de electroni. **Focarul optic**, la rândul său, reprezintă proiecția geometrică a focarului termic și este de câteva ori mai mic datorită unghiului de înclinare a pantei anodului (figura 1.8). Cu cât focarul optic este mai mic, cu atât mai înaltă este netitatea imaginilor și calitatea acestora. Producerea unor cantități mari de raze X necesită însă un focar mai mare pentru atenuarea procesului de supraîncălzire a anodului. În aceste condiții dimensiunile focarelor pot fi variabile (între 0,1 mm și 1,8 mm), iar unele tuburi radiogene pot opera cu 2 focare termice (și respectiv optice) diferite, care pot fi selectate de operator în funcție de procedurile efectuate.



**Figura 1.8.** Reprezentare schematică a focarului tubului, focarului termic și focarului optic. Focarul termic reprezintă locul de pe focarul tubului care este lovit de electroni. Focarul optic reprezintă proiecția geometrică a focarului termic și este de câteva ori mai mic datorită unghiului de înclinare a pantei anodului.

Majoritatea tuburilor radiogene moderne pot avea un *anod rotativ*, fapt ce contribuie la o disipare mai eficientă a energiei pe o suprafață mai mare și redă o rezistență mai sporită la uzură (figura 1.9).



**Figura 1.9.** Elementele de bază ale tubului radiogen cu anod rotativ. C1 – circuit de înaltă tensiune între catod și anod pentru crearea diferenței de potențial și accelerarea electronilor către anod. C2 – circuit de tensiune joasă pentru încălzirea filamentului catodului.

Elementele principale ale tubului sunt amplasate într-o **carcasă metalică** de protecție, numită și **cupola tubului**, care are scopul de a preveni iradierea sau electrocutarea persoanelor ce deservește instalația, precum și spargerea accidentală a tubului de sticlă vidat. Partea exterioară a carcasei este constituită din oțel sau diverse aliaje precum cupru și zinc, iar cea interioară dintr-un strat de plumb și un izolator de înaltă tensiune. Carcasa tubului conține un orificiu îngust, numit **fereastră de emisie**, ce permite ieșirea unui fascicul de raze X (figurile 1.7, 1.9). Fereastra de emisie este prevăzută cu un diafragm pentru reglarea dimensiunilor fasciculului de raze X emise, precum și cu un **filtru de aluminiu** pentru stoparea razelor ce nu au energie și capacitate de penetrare suficientă pentru a fi utile în diagnostic.

Controlul funcționării tubului radiogen și a razelor produse este efectuat prin intermediul unui **panou de comandă** (numit și **pupitru de comandă**) (figura 1.21) unde se află un buton de pornire / oprire, un selector al focarului tubului (pentru aparatele cu 2 focare), precum și un selector al regimului de lucru pentru diverse proceduri. Panoul permite, de asemenea, ajustarea diversilor parametri precum intensitatea curentului ce alimentează filamentul catodului (afectând numărul de electroni și cantitatea de raze X), tensiunea dintre catod și anod (afectând energia electronilor și a razelor X), timpul de expunere etc. Unii termeni relativ frecvent utilizați în procesul producerii razelor X includ:

- **Duritatea razelor** reprezintă capacitatea razelor X de a pătrunde prin diverse materiale, inclusiv prin corpul uman. Cu cât energia razelor este mai mare (lungimea de undă mai mică și frecvența mai mare) cu atât capacitatea de penetrare este mai mare. După cum a fost menționat la începutul capitolului, lungimea de undă a razelor X este cuprinsă între aproximativ 0,01 și 100 angstromi ( $1\text{Å} = 0.1\text{ nm}$ ). În general, razele X cu lungimea de undă sub 1 angstrom sunt numite raze dure, iar cele cu lungimea de undă peste 1 angstrom sunt numite raze moi. În literatura de specialitate pot fi întâlnite și o serie de alte clasificări, inclusiv în funcție de frecvența și energia fotonilor. Duritatea razelor X este direct proporțională cu diferența de potențial (tensiunea curentului) dintre anod și catod: creșterea tensiunii este asociată cu creșterea accelerării și energiei electronilor ce lovesc anodul, care este convertită și reflectată la rândul său în energia fotonilor emiși. Ținând cont de faptul că majoritatea razelor X produse în tubul radiogen sunt radiații policromatice (de frânare), creșterea tensiunii curentului este asociată cu creșterea durității razelor X.

- **Intensitatea fasciculului de raze X** reprezintă cantitatea de raze emise într-o unitate de timp și este direct proporțională cu gradul de încălzire a filamentului catodului și numărul de electroni din jurul acestuia care sunt apoi accelerați spre anod. Creșterea intensității curentului din circuitul catodic este astfel asociată cu un număr mai mare de electroni accelerați, a căror energie este convertită în fotoni, și un număr mai mare de raze X emise.

- **Timpul de expunere** reprezintă timpul de iradiere în care razele X parăsesc carcasa tubului prin fereastra de emisie, fiind, de regulă, îndreptate către ecranul aparatului în fața căruia se află pacientul sau regiunea anatomică investigată. Timpul de expunere este controlat printr-un timer care este conectat la circuitele tubului. Astfel, la expirarea timpului de expunere prestabilit, circuitul este întrerupt, iar tubul necesită a fi resetat pentru următoarea procedură.

- **Expunerea** se referă la energia razelor X emise din tubul radiologic spre pacient în timpul iradierii și este direct proporțională cu intensitatea sursei și timpul de expunere, fiind exprimată frecvent în *mAs* (miliAmper x secunde). În dozimetrie, însă, doza de expunere se referă la capacitatea razelor X de a ioniza aerul și se măsoară cu detectoare de radiație, unitatea de măsură fiind *Roentgenul* (R).

Radiațiile X cu energii mai mari ca cele folosite în scop diagnostic (de exemplu, pentru tratarea tumorilor maligne profunde) pot fi obținute cu ajutorul unor acceleratoare de particule speciale pentru electroni numite

**betatroane**, unde accelerarea electronilor și energia acestora este semnificativ mai mare decât în tubul radiogen.

#### 1.1.4. Proprietățile razelor X

Proprietățile razelor X pot fi divizate în proprietăți fizice, chimice și biologice:

a) **proprietăți fizice:**

- sunt invizibile;
- se propagă în vid cu viteza luminii (300 000 km/sec.);
- se propagă în linie dreaptă de la sursă;
- se propagă în toate direcțiile de la sursă;
- nu sunt deviate de câmpuri electrice și magnetice;
- nu sunt deviate sau focalizate de lentile;
- au **penetrabilitate** crescută, străbătând însă diverse materiale și țesuturi în mod diferit, fapt ce permite utilizarea acestora în imagistica medicală:
  - penetrabilitatea razelor X este invers proporțională cu puterea a 3-a a lungimii de undă, de aceea razele dure cu o lungime de undă mai scurtă au o capacitate de penetrare mai mare comparativ cu razele moi ce au o lungime de undă mai lungă;
- sunt **absorbite** de diverse țesuturi și obstacole în mod diferit, iar intensitatea fasciculului scade treptat pe măsură ce acesta avansează, fenomen ce este cunoscut sub denumirea de *atenuare*:
  - absorbția razelor X este direct proporțională cu puterea a 4-a a numărului atomic ( $Z$ ), de aceea țesuturile moi compuse din hidrogen ( $Z=1$ ), carbon ( $Z=6$ ), azot ( $Z=7$ ) sau oxigen ( $Z=8$ ) absorb mai puține raze X și sunt mai radiotransparente decât oasele compuse din calciu ( $Z=20$ ) și fosfor ( $Z=15$ ) sau decât substanțele de contrast ce conțin iod ( $Z=53$ ) sau bariu ( $Z=56$ );
  - absorbția razelor X este direct proporțională cu puterea a 3-a a lungimii de undă, de aceea razele moi cu o lungime de undă mai lungă sunt absorbite mai puternic comparativ cu razele dure ce au o lungime de undă mai scurtă;
  - absorbția razelor X este direct proporțională cu densitatea corpului sau țesutului străbătut (cu numărul de atomi dintr-un volum dat), de aceea țesuturile mai dense absorb mai multe raze X și sunt mai puțin radiotransparente;

- absorpția razelor X este direct proporțională cu grosimea regiunii străbătute (un perete mai gros absoarbe mai multe raze X comparativ cu un perete mai subțire format din același material), de aceea fasciculul de raze X poate necesita ajustări în funcție de constituția pacientului și grosimea regiunii investigate;
- ionizează gazele prin care trec, numărul de ioni produși fiind direct proporțional cu intensitatea radiațiilor;
- produc fenomene de *luminescență* în anumite substanțe ca sulfura de zinc și cadmiu, tungstatul de calciu, silicatul de zinc, platinocianura de bariu etc.;
- produc radiații secundare (împrăștiate) la interacțiunea cu diverse obstacole;

b) **proprietăți chimice:**

- impresionează emulsia și plăcile fotografice, acționând asupra sărurilor de argint;
- induc schimbări de culoare ale unor substanțe precum albirea albastrului de metilen sau modificarea culorii platinicianurii de bariu din verde în galben, apoi în brun (proprietate folosită în trecut pentru dozarea razelor X);
- pot induce diverse reacții chimice datorită producerii de ioni sau radicali activi precum grupa hidroxil ( $\text{OH}^-$ );

c) **proprietăți biologice:**

- prin excitările și ionizările produse, razele X pot afecta moleculele importante de ADN, ARN, proteine, lipide, hormoni, cauzând o serie de modificări în țesuturile biologice (efecte celulare, tisulare, somatice, feto-embriolare, genetice și cancerigene), care în funcție de doza de radiații absorbite pot varia de la efecte nesemnificative sau tranzitorii, mutații în celulele germinative și în cele somatice până la moartea celulei:
  - **efectele deterministice** – sunt efecte biologice pe termen scurt determinate de un nivel de prag al dozei de radiație (de obicei, în urma unui incident specific) și se pot manifesta prin hiperemie sau arsuri ale tegumentelor, diverse grade ale sindromului acut de iradiere sau deces;
  - **efectele stocastice** – sunt efecte biologice întârziate datorită expunerii cumulative la radiație, probabilitatea de apariție a cărora depinde de doza totală încasată într-o perioadă mai îndelungată și se manifestă de obicei prin creșterea riscului de cancer și boli ereditare;

- în funcție de răspunsul biologic la radiație, există celule radiosensibile (precum celulele germinative sau celulele hematopoietice din țesutul limfoid) și celule radiorezistente (precum celulele nervoase sau celulele musculare);
- mutațiile rezultate pot fi dominante sau recesive, printre consecințele acestora enumerându-se moartea fetală intrauterină sau postpartum, diverse malformații congenitale, sterilitate etc.;
- deoarece doza de radiații care poate induce aceste modificări nu este cunoscută cu precizie și poate varia în funcție de susceptibilitatea individuală, este de recomandat evitarea iradierii gonadelor și a produsului de concepție în primele 3 luni.

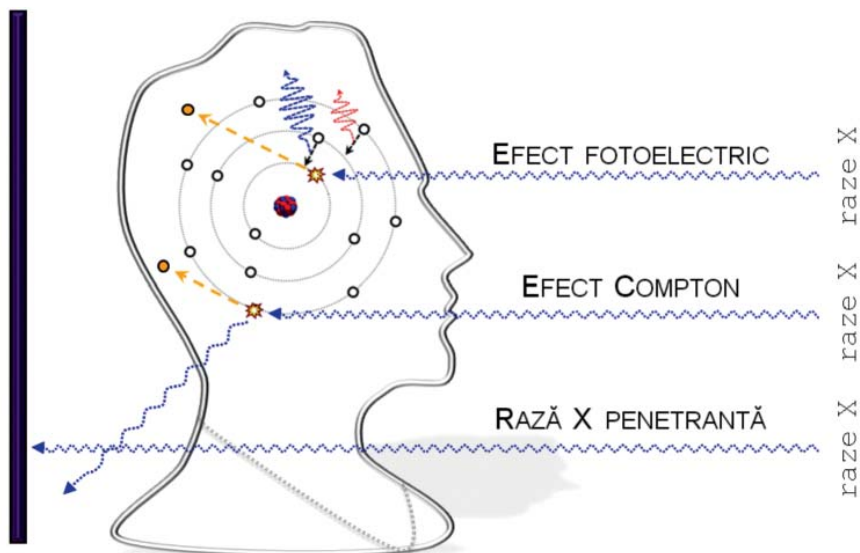
Cunoscând proprietățile razelor X, putem explica mai ușor fenomenele întâlnite și utilizarea acestora în diverse domenii. De exemplu, fenomenul de *luminescență* este datorat faptului că în procesul atenuării razele X pot ceda o parte de energie electronilor din materie, cauzând o stare de excitație a acestora. Electronii excitați cedează apoi excesul de energie primit sub formă de fotoni, iar în anumite substanțe fotonii emiși au lungimea de undă situată în spectrul luminii vizibile. Dacă emiterea luminii are loc instantaneu, fenomenul este numit **fluorescență**, iar dacă procesul de revenire a electronilor la starea inițială este mai îndelungat, fiind asociat cu emiterea fotonilor de lumină în timp – fenomenul este numit **fosforescență**. Procesul de fluorescență stă la baza construcției ecranului radiosopic și a cristalelor de scintigrafie ce au proprietatea de a lumina atâta timp cât asupra lor acționează razele X sau gamma. Procesul de fosforescență este, de asemenea, utilizat în unele folii întăritoare din casele pentru radiografii, care continuă să impresioneze filmul chiar și o scurtă perioadă după expunerea la razele X. Funcționarea unor detectoare de radiații poate fi bazată atât pe fenomenul de fluorescență (detectori cu scintilatori), cât și pe ionizarea gazelor prin care trec razele X (camera de ionizare, contorul Geiger-Müller). Efectele biologice ale razelor X stau atât la baza radioprotecției, cât și la baza principiilor radioterapiei, fiind utilizate în tratamentul tumorilor maligne pentru distrugerea celulelor canceroase.

### 1.1.5. Radiații secundare sau împrăștiate

Un rol deosebit în practica medicală îl au și **razele secundare** (împrăștiate), care, în afara degradării imaginii radiologice, stau la originea radiațiilor prezente în afara fasciculului de raze X și a unor principii sau normative de radioprotecție. Modalitățile de producere a radiațiilor secundare pot include:



• **Efectul fotoelectric** reprezintă emiterea de electroni din materie în urma absorbției de radiație electromagnetică (practic fiind un proces invers față de cel de formare a razelor X, când energia electronilor este transformată în unde electromagnetice). Astfel, dacă o rază X ce traversează materia lovește un electron de pe orbitele interioare, apropiate de nucleu, toată energia razei poate fi cedată electronului, care datorită impactului este ejectat de pe orbită (figura 1.10). Electronii ejectați în acest mod capătă denumirea de fotoelectri, iar procesul este numit efect fotoelectric. Locul electronului ejectat este apoi ocupat de unul din electronii din orbitele exterioare, care în timpul "căderii" pe o orbită mai apropiată de nucleu cedează o parte din energia cinetică sub forma unui foton (similar procesului descris în cadrul producerii razelor caracteristice din figura 1.6). Astfel, razele X absorbite de materie prin efect fotoelectric transmit întreaga energie electronilor care sunt ejectați, procesul fiind asociat cu producerea radiațiilor caracteristice secundare emise în toate direcțiile de la locul absorbției razelor primare. În corpul uman, efectul fotoelectric este predominant în procesul de absorbție a razelor X cu energie de până la 100 kEv (kiloelectronvolți).



**Figura 1.10.** Efectul fotoelectric are loc când raza X transmite întreaga energie unui electron din orbitele interioare, care este ejectat din orbită. Rearanjarea electronilor în jurul nucleului este asociată apoi cu emisie de raze caracteristice. Dispersia Compton are loc când raza X se ciocnește cu un electron din orbitele exterioare, care este mai slab atras de nucleu, sau cu un electron liber. Cedând o parte a energiei, raza X își schimbă apoi direcția și lungimea de undă, devenind o rază secundară.

- **Efectul Compton** (cunoscut și sub denumirea de împrăștiere Compton, împrăștiere neelastică sau necoerentă) are loc dacă în timpul traversării materiei raza X lovește un electron liber sau un electron din orbitele exterioare care este mai slab atras de nucleu. După ciocnire, raza X își schimbă direcția și lungimea de undă în funcție de energia pierdută, devenind o rază secundară (figura 1.10). Razele rezultate în urma acestui proces, care este numit împrăștiere Compton, pot fi orientate în orice direcție și contribui la degradarea imaginii. În corpul uman, împrăștierea Compton este predominantă în procesul de absorbție a razelor X cu energie mai mare de 100 keV.

- Împrăștierea elastică (cunoscută și sub diverse forme sau denumiri precum împrăștierea sau dispersia Rayleigh, Thompson, împrăștiere clasică sau coerentă) rezultă din polarizarea electrică a particulelor prin care trece raza, procesul nefiind însă semnificativ pentru razele X utilizate în imagistica medicală.

- **Generarea de perechi electron-pozitron** poate avea loc doar la energii ale fotonilor mai mari de 1,022 MeV, pragul fiind mult peste energia razelor X utilizate în scop diagnostic.

## 1.2. PRINCIPIILE DE FORMARE ȘI CRITERIILE DE APRECIERE A IMAGINII RADIOLOGICE. METODELE RADIOLOGICE DE INVESTIGAȚIE

**Radiologia**, din punctul de vedere al diagnosticului medical, este ramura medicinei care se ocupă cu examinarea corpului omenesc cu ajutorul razelor X. Fiind prima ramură apărută a imagisticii medicale, termenul "radiologie", în funcție de domeniul abordat, poate include aspecte atât diagnostice (cum este formulat mai sus), cât și terapeutice (domeniul medicinei, care aplică radiațiile ionizante în tratamentul unor leziuni sau boli ale organismului); poate fi formulat și din punctul de vedere al fizicii (ramură a fizicii care se ocupă cu studiul radiațiilor ionizante și al aplicațiilor lor). În unele țări prin termenul "radiologie", din aceleași considerente, se subînțelege întreaga imagistică medicală contemporană.

În acest curs, termenul "radiologie" va fi utilizat referitor la metodele diagnosticului medical care utilizează razele X.

Investigația cu ajutorul razelor X include radioscopia, radiografia (convențională sau digitală, predominantă în prezent), metodele tomografice (tomografia convențională (liniară, plană), tomografia computerizată, tomosinteza).

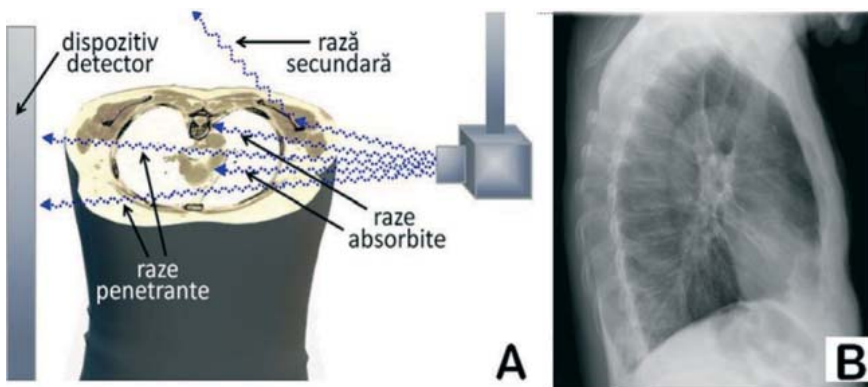
**Radiografia** în medicină este examinarea corpului uman utilizând imaginea înregistrată pe un film sau pe o placă fotografică cu ajutorul razelor X. **Radioscopia** în medicină este examinarea vizuală a corpului uman pe un ecran luminiscent cu ajutorul razelor X.

### 1.2.1. Proprietățile imaginii radiologice

O imagine radiologică se formează datorită capacității razelor X de a penetra corpul uman.

Orice investigație radiologică include în mod obligatoriu 3 componente principale: tubul radiogen, obiectul investigației (pacientul) și ecranul. Obiectul investigației se plasează între tubul radiogen și ecran. Razele X penetrează corpul pacientului și accesează ecranul, pe care se formează o imagine în ”alb și negru”. Aceasta nu este o pată omogenă, dar permite distingerea diferitor structuri prin diverse nuanțe de gri.

Distingerea structurilor anatomice pe o imagine radiologică este posibilă datorită proprietății razelor X de a fi absorbite de către țesuturi. Absorbția nu este uniformă și depinde direct proporțional de densitatea și de grosimea structurii anatomice respective. Prin urmare, cantitatea razelor X care ajung ecranul în diferite puncte diferă în funcție de structura anatomică traversată. Diferența nuanțelor de gri ne permite distingerea și recunoașterea diferitor structuri, atât normale, cât și patologice (figura 1.11).



**Figura 1.11.** Formarea imaginii radiologice: principiul (schema) (A) și o imagine reală obținută (B). Pe secțiunea schematică, țesuturile cu un grad mai înalt de absorbție al razelor X sunt indicate cu un ton mai întunecat.

La nivelul ecranului în investigația radiologică ”lucrează” două proprietăți ale razelor X, datorită cărora imaginea apare vizibilă pe ecran. În

funcție de proprietatea razelor X utilizată, se evidențiază 2 tipuri de ecrane în investigația radiologică.

**Obținerea imaginii pe ecranul luminiscent**, utilizat în investigațiile radioscopice, este bazată pe efectul luminiscent al razelor X. Ecranul luminiscent este acoperit cu anumite substanțe, ca sulfură de zinc și cadmiu, platinocianură de bariu etc., astfel, în proiecția structurilor care au absorbit o cantitate mică de raze X (ex., parenchimul pulmonar, cavitățile care conțin aer), mai multe raze X ajung ecranul și produc emiterea mai multor fotoni de lumină; structurile situate în această regiune vor avea pe ecran o culoare deschisă, cu atât mai albă, cu cât mai multe raze X au ajuns ecranul. În proiecția structurilor mai dense și/sau mai grase (ex., oase) puține raze X vor ajunge ecranul, și imaginea acestor structuri va fi colorată în negru, cu atât mai neagră, cu cât mai puține raze X au intrat în contact cu substanța ce acoperă ecranul. Ecrane luminiscente au fost primele folosite în radiologie; așa au văzut structurile anatomice ale corpului uman primii radiologi. Imaginea în care structurile cu densitate mică apar de culoare deschisă ("albă"), iar cele cu densitate mare apar întunecate ("negre") se numește **pozitivă** (figura 1.12).

**Obținerea imaginii pe filmul radiografic** este bazată pe **acțiunea chimică fotografică** a razelor X. Filmul radiografic este acoperit cu emulsia ce conține săruri (bromură) de argint. Sub acțiunea razelor X acestea suferă procese de ionizare și devin sensibile la acțiunea substanțelor reductoare, care produc precipitarea argintului sub formă de praf negru. În acest caz, în proiecția structurilor mai puțin dense, care au absorbit o cantitate mică de raze X și astfel mai multe raze X au ajuns ecranul, se va forma o cantitate mai mare de pulbere neagră; structurile situate în această regiune vor avea pe ecran o culoare închisă, cu atât mai neagră, cu cât mai multe raze X au ajuns ecranul. De obicei, cel mai negru este aerul ce înconjoară corpul pacientului și poate nimeri în cadru. În proiecția structurilor cu grosime mai mare și/sau mai dense, unde mai multe raze X sunt absorbite și, corespunzător, puține raze X au ajuns ecranul, se va forma o cantitate mai mică de pulbere neagră și imaginea acestor structuri va fi de o culoare deschisă, cu atât mai albă, cu cât mai puține raze X au intrat în contact cu substanța ce acoperă filmul; oasele, astfel, vor avea o culoare albă. Imaginea în care structurile cu densitate mică sunt de culoare întunecată ("neagră"), iar cele cu densitate mare apar deschise ("albe") se numește **negativă** (figura 1.12).



a)



b)

**Figura 1.12.** Radiografia cutiei toracice de față (diferiți pacienți): a) – imaginea pozitivă: structurile dense (oase) sunt de culoare neagră, iar cele de densitate joasă (parenchimul pulmonar etc.) – de culoare albă; b) – imaginea negativă.

Imaginea radiologică, fie pozitivă, fie negativă, poate fi caracterizată prin unele *proprietăți*, care servesc și în calitate de *criterii de calitate* ale acesteia. Proprietățile de bază ale imaginii radiologice (valabile și pentru alte metode imagistice) sunt:

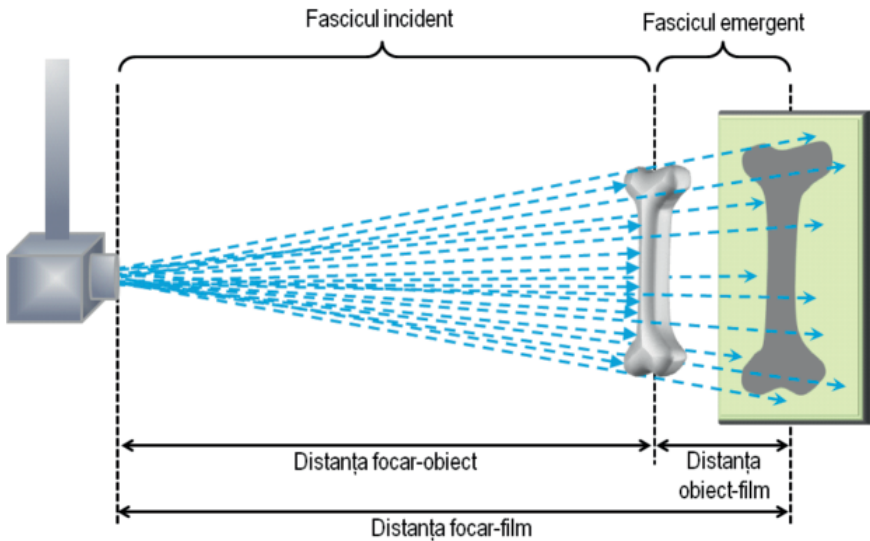
- **Netitatea (claritatea)**, care caracterizează liniile de contur ale structurilor din imagine. În caz de netitate bună, acestea trebuie să apară **clare, distincte, precise**.
- **Contrastul**, care reprezintă raportul dintre alb și negru și poate fi exprimat prin gradul de variație a nuanțelor de culoare între punctul cel mai întunecat și cel mai luminos al imaginii. Cu cât mai multe grade de tonalitate între structura cea mai albă și cea mai neagră sunt pe imagine, cu atât aceasta este mai puțin contrastă, și invers. Contrastul imaginii radiologice depinde de alegerea corectă a parametrilor expoziției și în special de duritatea razelor X utilizate pentru obținerea acesteia.
- **Capacitatea de rezoluție**, care se exprimă în milimetri și poate fi diferită în funcție de metoda imagistică de investigație aplicată. Milimetrii înseamnă distanța minimală între două obiecte diferite situate alături unul de altul, când acestea pot fi apreciate vizual ca fiind separate.

## 1.2.2. Legile formării imaginii radiografice

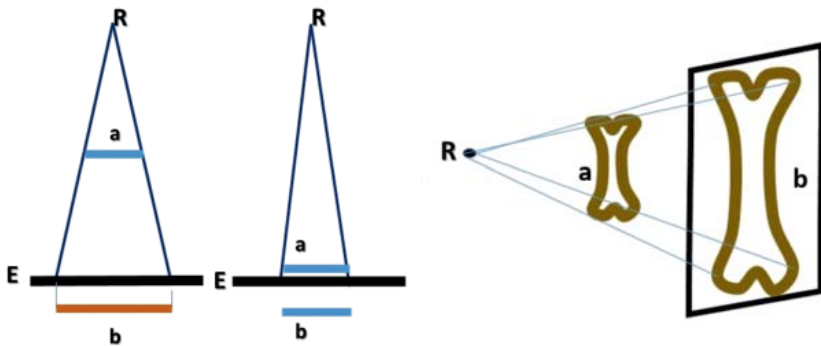
Imaginea unui obiect interpus între sursa de raze X și dispozitivul detector reprezintă proiecția unui corp tridimensional într-un plan bidimensional și este supusă unor legi optice, importante de ținut minte (în caz contrar, apar greșeli în interpretarea imaginii și, respectiv, în stabilirea diagnosticului). Legile formării imaginii radiologice decurg din proprietățile fizice ale razelor X.

**Legea proiecției conice.** Fasciculul de raze X, emis din tubul radiogen, datorită proprietăților fizice ale razelor X de a se răspândi rectiliniu în toate direcțiile, își capătă forma conică, cu vârful conului la nivelul focarului tubului și baza la nivelul ecranului. Distanța dintre focarul tubului radiogen și pacient sau obiectul investigat este numită *distanță focar-obiect*, distanța dintre obiectul investigat și filmul radiologic (sau dispozitivul detector) – *distanță obiect-film*, iar distanța dintre focarul tubului radiogen și filmul radiologic – *distanță focar-film*. Fasciculul de raze X direcționat spre pacient sau obiectul investigat poartă denumirea de *fascicul incident*, iar fasciculul de raze X atenuat după traversarea regiunii investigate poartă denumirea de *fascicul emergent* (figura 1.13).

Ca rezultat, *imaginea obiectului de investigație va fi totdeauna mărită* (figurile 1.13, 1.14). Mărirea obiectului este minimă în dreptul razei centrale și maximă spre periferia imaginii. *Ca să obținem o imagine cu dimensiunile structurilor cât mai apropiate de cele reale, obiectul investigației se plasează cât mai departe de tubul radiogen și cât mai aproape de ecran, iar distanța dintre tub și ecran se mărește.* La distanța de 1,8-2 metri (**teleradiografia**), dimensiunile structurilor din imaginea obținută sunt practic egale cu cele reale (mărirea lor poate fi considerată neglijabilă). În acest caz, traiectoria razelor X, direcționate spre obiect, este aproape paralelă, în special dacă dimensiunile obiectului sau ale regiunii investigate sunt relativ reduse (regiunea dentară, craniană, cordul etc.). Tehnica poartă denumirea de teleradiografie datorită îndepărtării tubului radiogen de obiectul investigat. Metoda este utilizată pentru obținerea unor imagini izometrice (cu dimensiuni identice cu cele ale obiectului investigat), având o importanță deosebită în unele domenii precum neurochirurgia stereotaxică sau ortodonția pentru măsurarea exactă a dimensiunii și unghiurilor structurilor anatomice în regiunea craniului (cefalometrie) sau reperarea intracerebrală tridimensională.



**Figura 1.13.** Obținerea imaginii radiografice a unui obiect în conformitate cu legea proiecției conice. Are loc fenomenul de mărire a dimensiunilor obiectului investigat datorită formei conice a fascicului de raze X.

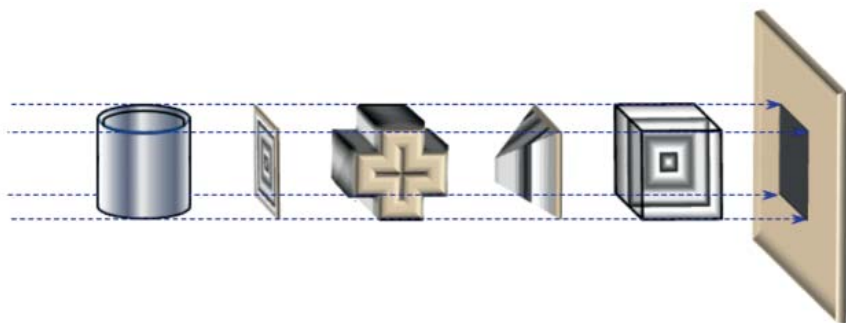


**Figura 1.14.** Legea proiecției conice (explicație în text). **R** – tubul radiogen, **E** – ecranul, **a** – obiectul investigației, **b** – imaginea obiectului obținută pe ecran.

În unele situații poate fi necesară mărirea detaliilor din imagine pentru identificarea mai multor detalii structurale ale regiunii investigate, rezultat care se obține prin micșorarea distanței dintre tub și ecran (**macroradiografia**). În acest caz obiectul investigat este îndepărtat la o distanță de circa 40 cm de dispozitivul detector, iar tubul radiogen este apropiat de obiect.

Această tehnică poate fi utilizată în diverse situații precum dacriocistografia (radiografia canalului lacrimo-nazal după administrarea unei substanțe de contrast), suspiciuni de fracturi ale oaselor carpiene etc. Cu cât obiectul este situat mai departe de film și mai aproape de tubul radiogen, cu atât mai mult este mărită proiecția acestuia pe imaginea radiologică.

**Legea sumății și substrației planurilor.** Legea sumății planurilor rezultă din faptul că o imagine radiologică este o imagine bidimensională a unui obiect tridimensional. Astfel, obiecte cu diverse forme pot avea proiecții similare pe filmul radiologic sau ecranul detector (figura 1.15).



**Figura 1.15.** La proiectarea într-un plan bidimensional, obiecte de diverse forme pot crea imagini similare pe ecran.

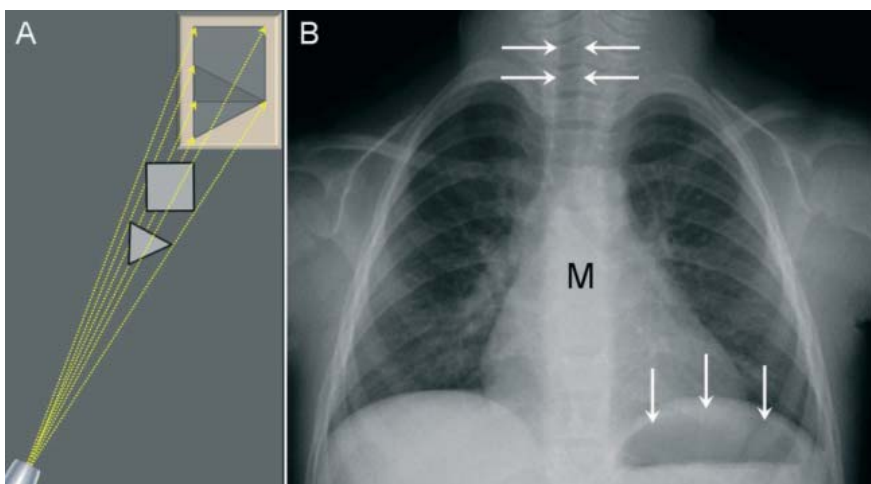


**Figura 1.16.** Sumația planurilor în imaginea radiografică. Pe radiografia de profil se depistează o structură de densitate metalică în proiecția craniului pacientului, localizarea exactă și specificarea acesteia nu sunt posibile. Pe radiografia de față devine clar că structura menționată este situată extracranial, în proiecția marginii superioare a urechii externe stângi (cel mai probabil, este un aparat auditiv).



Penetrând corpul uman, fasciculul de raze X traversează o mulțime de structuri, a căror imagine se va situa pe ecran într-un singur plan, suprapunându-se una peste alta, și aspectul final al imaginii va fi unul sumar, rezultatul sumatăii mai multor imagini cu diferită localizare spațială și diferită densitate (figura 1.16).

Contribuția fiecărui obiect în cazul sumatăii planurilor este de obicei exprimată printr-un surplus de intensitate a proiecției sale pe dispozitivul detector. O variantă sau consecință a sumatăii este și efectul de **substracție** în cazul unor organe sau țesuturi mai radiotransparente, deoarece implică o atenuare mai redusă a razelor X comparativ cu țesuturile adiacente. Efectul de substracție denotă adesea informații relevante referitoare la unele regiuni anatomiche precum traiectul traheii sau conținutul gazos al stomacului (figura 1.17).

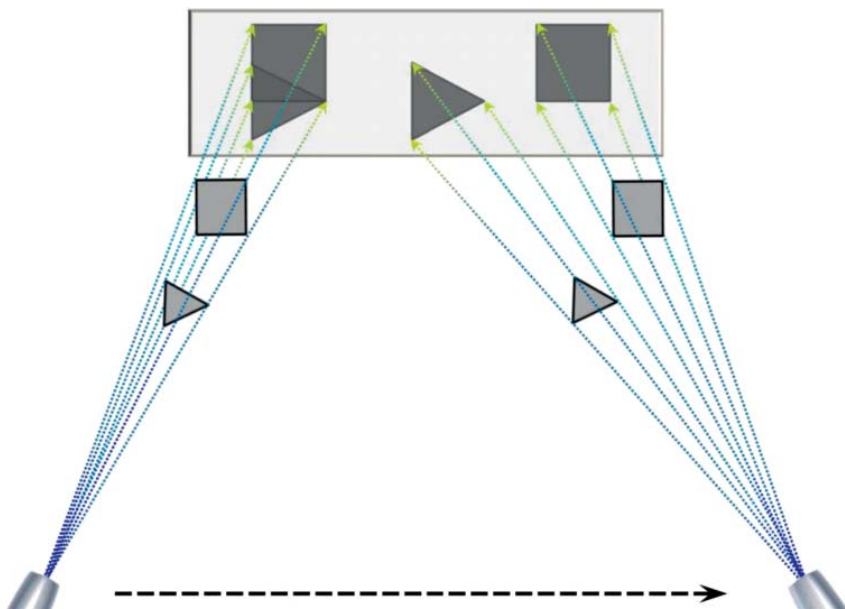


**Figura 1.17.** A – reprezentare schematică a legii sumatăii planurilor, proiecția fiecărui obiect fiind exprimată printr-un surplus de intensitate pe dispozitivul detector. B – umbra mediastinală (M) pe radiografia toracică se datorează efectului de sumatăie, în timp ce proiecția traheii (săgeți orizontale) și a conținutului gazos al stomacului (săgeți verticale) poate servi ca exemple ale efectului de substracție.

Localizarea și caracterizarea procesului patologic în aceste condiții pot fi dificile. Pentru a lupta cu legea sumatăii planurilor, au fost inventate mai multe metode și modalități de investigație. În radiologia standard, pentru a evita erori legate de legea sumatăii planurilor, se practică:

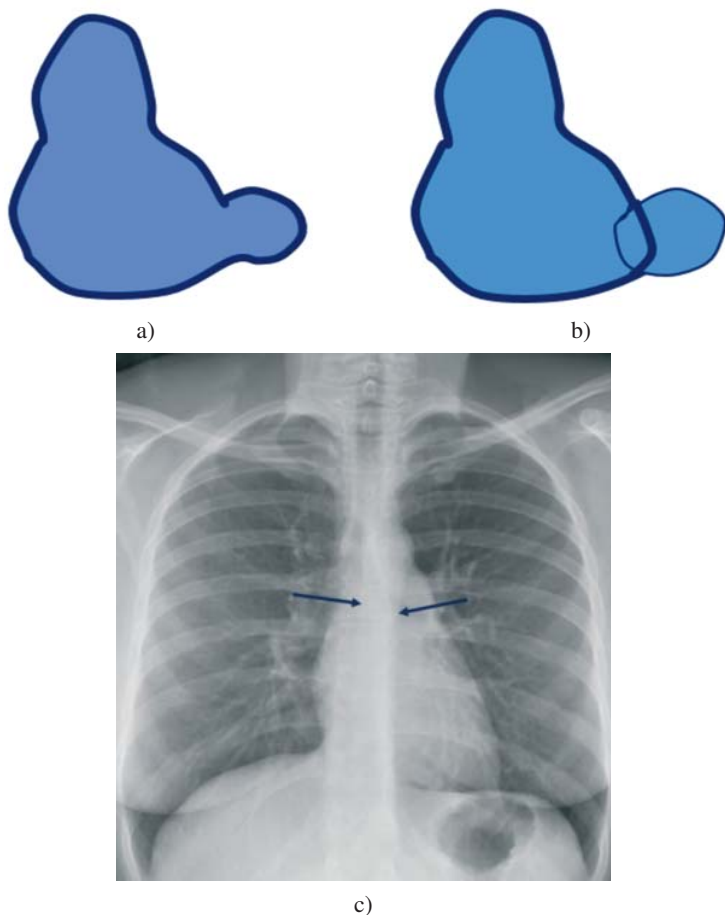
- ✓ Realizarea imaginilor în două proiecții reciproc perpendiculare (figura 1.16).
- ✓ Folosirea fenomenului de paralaxă pentru disocierea elementelor unei imagini sumare (figura 1.18).

Efectul de paralaxă permite departajarea elementelor componente ale unei imagini sumate și se bazează pe utilizarea proiecțiilor oblice. Pentru a putea departaja două structuri suprapuse situate în planuri diferite este necesar de a modifica direcția fascicului de raze X prin regiunea respectivă. Acest obiectiv poate fi realizat prin două metode: deplasarea tubului radiogen sau re poziționarea pacientului. Dacă tubul radiogen se deplasează în raport cu obiectul examinat paralel cu planul de proiecție, imaginea obiectului se deplasează în sens invers. Deplasarea imaginii obiectelor în această situație este cu atât mai mare cu cât obiectele sunt situate mai aproape de tubul radiogen și mai departe de dispozitivul detector (figura 1.18). Astfel, imaginile obiectelor aflate în planuri diferite vor fi deplasate în mod diferit până la proiecția independentă pe dispozitivul detector. Altfel zis, imaginea obiectului situat mai aproape de tub va fi deplasată mai mult spre periferia ecranului și astfel 2 obiecte vor apărea diferențiat. Principiul poate fi utilizat atât în departajarea structurilor suprapuse situate în diverse planuri, cât și în aprecierea grosimii unei structuri străbătute de fasciculul de raze X.



**Figura 1.18.** Reprezentare schematică a fenomenului de paralaxă. Deplasarea sursei de raze X permite departajarea elementelor componente ale unei imagini sumate. Deplasarea imaginii obiectelor este cu atât mai mare cu cât obiectele sunt situate mai aproape de sursă și mai departe de dispozitivul detector.

Fenomenul de paralaxă are o multitudine de aplicații în practica medicală, stând la baza oricăror manevre pentru departajarea structurilor suprapuse, incidențelor oblice și speciale, precum și tomografiei computerizate.



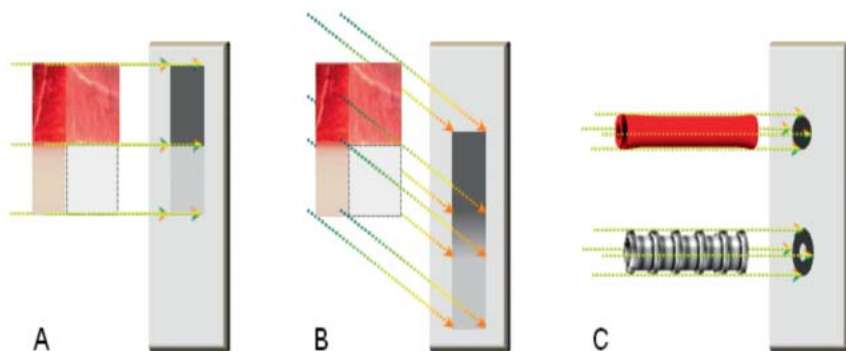
**Figura 1.19.** Semnul siluetei: a) și b) schema: a) – două structuri situate în unul și același plan; b) – două structuri situate la diferită distanță de la tubul radiogen; c) – radiografia cutiei toracice în plan frontal. Săgețile arată pereții aortei descendente (situată în diferite planuri față de însuși cordul), care pot fi clar distinse pe fundalul umbrei cordului.

În unele cazuri, dacă are loc suprapunerea a 2 obiecte de aceeași tonalitate, poate fi aplicat *semnul siluetei*. Conform acestui semn, dacă două structuri cu densitate (tonalitate) identică se află în diferite planuri (la distanță diferită de la tubul radiogen), imaginile fiecărei structuri, fiind supra-

pute, își păstrează marginile pe tot parcursul, ceea ce permite diferențierea lor ca două structuri diferite. Dacă structurile respective sunt situate în unul și același plan, contururile lor în regiunea suprapunerii se șterg, formând o imagine sumară cu o siluetă comună (figura 1.19).

**Legea incidențelor tangențiale.** Legea incidențelor tangențiale este dictată de faptul că razele X se propagă pe linia dreaptă și nu sunt nici reflectate, nici refractate de către structurile întâlnite. Unghiul sub care razele X incidente ating suprafața unui obiect opac sau regiunea care separă structuri cu capacitate de atenuare diferită are o relevanță deosebită pentru claritatea detaliilor vizualizate. Astfel, razele ce cad **tangențial** pe suprafața care separă două regiuni cu coeficient de atenuare diferit vor genera un contur bine determinat pe imaginea radiologică, în timp ce modificarea unghiului razelor incidente este asociată cu pierderea netității conturului dintre aceste regiuni (figura 1.20). Din acest motiv au fost stabilite incidențe speciale pentru vizualizarea optimă a anumitor regiuni sau structuri anatomice. Ca exemplu pot servi unele creste osoase care sunt vizualizate doar în anumite proiecții ce permit direcționarea tangențială a razelor X pe suprafața osoasă investigată.

Datorită legii incidențelor tangențiale, diverse structuri anatomice pot genera diverse forme pe imaginea radiografică în funcție de unghiul de incidență al razelor X. În cazul când fasciculul de raze X cade paralel pe axul lung al unui organ sau segment anatomic, proiecția acestuia este numită **ortogradă** (în lungul axului). Pe imaginea radiografică, unele vase sangvine sau limfatice prinse ortograd pot fi vizualizate ca opacități rotunde, în timp ce bronșiile în proiecție ortogradă pot apărea sub aspectul unor transparențe sau opacități inelare, în special în cazul patologiilor asociate cu edem peribronșic (figura 1.20).



**Figura 1.20.** Reprezentare schematică a legii incidențelor tangențiale (A, B) și a celor ortograde (C).

Ca rezultat al legii incidențelor tangențiale, de asemenea, se poate constata că:

- ✓ Un obiect plan situat paralel cu planul ecranului apare în imagine mărit, dar nedeformat.
- ✓ Un obiect plan situat perpendicular cu planul ecranului (tangențial razelor X) apare în imagine linear.
- ✓ Un obiect plan situat oblic față de planul ecranului apare în imagine și mărit, și deformat.

### 1.2.3. Radioscopia și radiografia

Metodele radiologice de bază – radiografia și radioscopia au fiecare avantajele și dezavantajele sale, în baza cărora se formulează indicațiile pentru aplicarea uneia sau a alteia (tabelul 1.1).

Tabelul 1.1

*Avantajele și dezavantajele radiografiei și radioscopiei*

Metoda	Avantaje	Dezavantaje
<b>Radiografia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ușor accesibilă</li> <li>• Se vizualizează mai multe detalii</li> <li>• Poate servi ca document medico-legal, permite crearea arhivei</li> <li>• Doza de iradiere mai mică</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nu permite investigația funcțională</li> <li>• Nu permite ghidarea manipulațiilor invazive</li> </ul>
<b>Radioscopia</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite investigația funcțională</li> <li>• Permite ghidarea manipulațiilor invazive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doza de iradiere este mare</li> <li>• Se vizualizează mai puține detalii</li> <li>• Relativ subiectivă</li> <li>• Nu poate servi ca document medico-legal</li> </ul>

Prima investigație radiologică, care și-a găsit aplicare în practica medicală în foarte scurt timp după descoperirea razelor X, a fost radioscopia. La mijlocul și încă în a doua jumătate a secolului XX, majoritatea investigațiilor radiografice (de ex., a plămânilor, a cordului), pentru concluzia definitivă, erau completate cu investigația radioscopică, în pofida dozei mai mari de iradiere. Actualmente, indicațiile radioscopiei sunt limitate, însă în unele domenii ale medicinei ea rămâne indispensabilă. Indicațiile de bază sunt:

- ✓ Investigații radiologice funcționale ale tubului digestiv;
- ✓ Ghidarea manipulațiilor invazive diagnostice și de tratament (radiologia intervențională).

În prezent pentru efectuarea investigațiilor radiologice, inclusiv a radiografiei și radioscopiei standard se folosesc pe larg **tehnologii digitale**. În majoritatea centrelor aparatele analogice sunt deja înlocuite cu cele digitale (figura 1.21). Imaginea structurilor anatomice, obținută conform principiilor generale, este apoi procesată digital. Dacă în imaginea radiografică analogică nuanțele de gri sunt redade prin intermediul unor granule de argint negru (atât de mici, încât o singură granulă nu poate fi percepută de ochiul uman), în imaginea digitală unitatea structurală minimală este pixelul, colorat în diferite nuanțe de gri în funcție de densitatea structurii anatomice, traversate de razele X. Imaginea sumară este formată din totalitatea de pixeli în proiecția regiunii de investigație. Față de granula de argint, pixelul are dimensiunea puțin mai mare, ceea ce poate fi observat în cazul necesității de a mări dimensiunea imaginii. Însă densitățile mici sunt redade mai bine și calitatea imaginii obținute este net superioară. Datorită receptoarelor cu semiconductor, imaginea digitală apare imediat pe ecran, poate fi citită, redactată (de exemplu, prin modificarea contrastului), printată, copiată de atâtea ori de câte este nevoie fără a iradia adăugător pacientul, stocată, la necesitate transmisă în orice alt centru. Imaginea apare pe ecranul calculatorului și devine accesibilă pentru a fi analizată imediat după sfârșitul expoziției. Astfel se economisește timpul ce se folosea pentru dezvoltarea și fixarea filmului analogic, nefiind necesare reactive chimice. Pentru realizarea unei imagini digitale, se folosește fasciculul de raze X cu intensitatea de 2 ori mai mică decât în cazul radiografiei analogice. În prezent, unicul dezavantaj al radiografiei digitale este costul relativ ridicat al echipamentelor în comparație cu echipamentele cu raze X analogice.



**Figura 1.21.** Echipamente pentru radiografia digitală.

Atât radiografia, cât și radiosopia prevăd 3 aspecte principale pentru efectuarea investigației radiologice: tubul radiogen, obiectul investigației (pacientul) și ecranul (dispozitivul detector); în lipsa oricăreia din aceste 3 aspecte investigația radiologică nu va fi efectuată. Metodele radiologice astfel aplicate sunt *metode radiologice simple*. Pentru îmbunătățirea vizualizării structurilor studiate și efectuarea diagnosticului corect, deseori este necesară utilizarea suplimentară a anumitor substanțe sau a utilajului adăugător, sau a ambelor; aceste metode radiologice se numesc *metode radiologice speciale*.

Independent de poziția pacientului în momentul efectuării investigației, **o imagine radiografică este plasată și privită conform poziției imaginabile a pacientului: verticală (în picioare), față (sau profil pentru proiecție de profil) în față cu examinatorul.**

#### 1.2.4. Niveluri de contrastare naturală

După cum s-a menționat mai sus, distingerea diferitor structuri anatomice pe o imagine radiologică este posibilă datorită absorbției diferențiate a razelor X de către diferite structuri ale corpului uman. Această diferență se manifestă pe imagine prin diferite nuanțe de gri. Se diferențiază 5 niveluri de contrastare naturală pe imaginea radiologică, 4 din ele sunt caracteristice structurilor anatomice normale ale corpului uman, al 5-lea poate apărea în diferite situații patologice. Acestea sunt în ordinea crescândă (de la cea mai mică la cea mai mare densitate) (figura 1.22):

1. Aerul
2. Țesutul adipos
3. Lichidul / țesuturile moi / mușchii / organele parenchimatoase
4. Țesutul osos
5. Metalul.

O structură cu densitatea ce corespunde cu una din aceste densități de bază va fi numită corespunzător acesteia, de ex. ”structura de densitate (tonalitate) osoasă”; cele care corespund cu treapta a 3-a vor fi numite ”de densitate lichidiană”. După cum se vede din cele expuse, treapta a 3-a include o mulțime de structuri cu densități diferite, dar această diferență nu este suficient de mare pentru a permite distingerea lor pe o imagine radiografică (fapt care impune folosirea metodelor radiologice speciale).

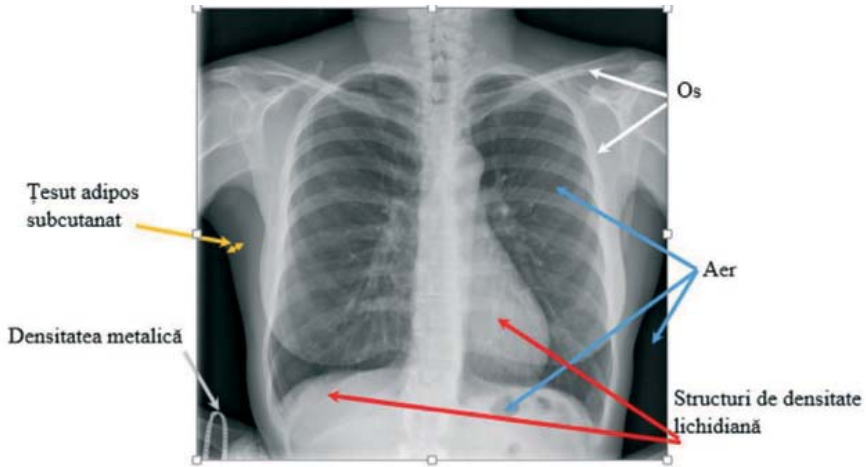


Figura 1.22. Niveluri de contrastare naturală pe imaginea radiografică.

### 1.2.5. Substanțe de contrast folosite pentru investigații radiologice

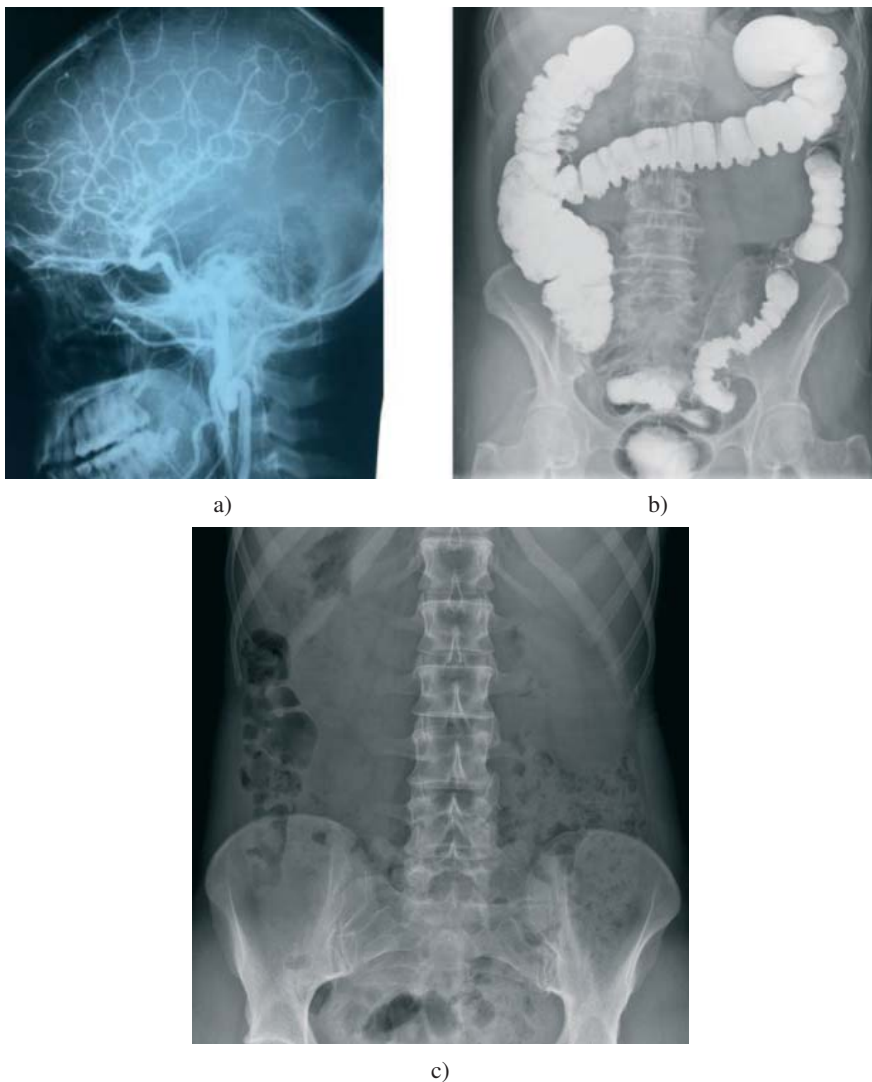
Cele 5 niveluri de contrastare naturală, pe care le putem diferenția pe o imagine radiografică, deseori nu sunt suficiente pentru a distinge diferite structuri anatomice cu absorbția aproape egală a razelor X, în special cele de densitate lichidiană (vedeți figurile 1.17, 1.22. Mediastinul include esofagul, vasele sangvine, cordul cu pericardul, miocardul, epi- și endocardul, sângele ce se află în cavitațiile cordului și în vasele sangvine etc. Însă noi nu le putem distinge pe o imagine radiografică. Unica structură pe care o putem deosebi de altele este traheea, datorită aerului pe care îl conține).

Pentru a putea distinge și a face accesibile pentru evaluare structurile cu densitate similară, în organism se introduc substanțe care absorb mai multe sau mai puține raze X față de structurile anatomice native (de ex., față de pereții tubului digestiv, pereții vascolari, miocard); așadar, ele au *densitatea* diferită în comparație cu cea normală a structurilor anatomice în regiunea examinată. Aceste substanțe se numesc **substanțe de contrast**. Substanțele care absorb mai multe raze X decât țesuturi înconjurătoare se numesc *radioopace* sau *radiopozitive*. Ele se bazează pe elemente grele – bariu sau iod (figura 1.23 a, b). Cele care absorb mai puține raze X decât țesuturi înconjurătoare se numesc *radiotransparente* sau *radionegative* (figura 1.23 c). Acestea sunt substanțele gazoase: oxidul de azot, dioxidul de carbon, oxigenul sau aerul.

Substanța de contrast poate fi introdusă în mod direct într-o cavitate (normală sau patologică), într-un vas sangvin sau duct, în parenchim; sau



intravenos, pentru a evalua ulterior concentrația și eliminarea – de ex., pentru evaluarea aparatului urinar sau tractului biliar.



**Figura 1.23.** Substanțe de contrast pentru investigații radiologice: a), b) radiopozitive: a) angiografia vaselor cerebrale, substanță de contrast pe bază de iod; b) irigografia, substanța de contrast pe bază de bariu; c) radiografia abdominală pe gol, contrastarea spontană datorită conținutului gazos în intestinul gros (radionegativ), care permite distingerea clară a unor structuri ale colonului ascendent.

Schematic, substanțele de contrast care se folosesc pentru investigații radiologice pot fi clasificate în felul următor (tabelul 1.2).

Cerințele pentru substanțele de contrast, folosite pentru investigații radiologice, includ toxicitatea redusă, alergenicitatea scăzută, eliminarea rapidă din organism și raportul optimal cost-eficacitate (să fie atins și scopul principal: vizualizarea structurilor imposibile de evaluat pe o imagine radiografică nativă).

Tabelul 1.2

*Clasificarea substanțelor de contrast care se folosesc pentru investigații radiologice*

După modificarea densității:	<b>Radionegative</b> (radiotransparente), cu densitate mică		
	<b>Radiopozitive</b> (radioopace): cu densitate mare	Insolubile	
		Liposolubile	
		Hidrosolubile	Cu eliminare preponderent prin căile biliare
	Cu elimina-re preponderent prin căile urinare		Ionice
		Non-ionice	
<b>Contrastarea dublă (folosind substanțe radiopozitive și radionegative)</b>			

Substanțele de contrast insolubile practic nu produc reacții adverse, deoarece nu se absorb din tubul digestiv. Substanțele hidrosolubile, în special la administrarea intravenoasă, pot cauza reacții adverse (alergice) de diferită gravitate. De obicei, se evidențiază reacțiile minore sau ușoare, cum ar fi gust metalic în gură, senzații de căldură (aceste două se consideră uneori și ”modificări uzuale”), roșeață a feței, strănut, greață, vărsătură (dacă este un singur episod), cefalee. Reacțiile moderate includ erupții cutanate, vărsături repetate, palpitații, dispnee, modificări tensionale moderate. Se pot întâmpla și reacții grave, care includ edem glotic, bronhospasm, convulsii, modificări cardiovasculare (aritmii severe, infarct miocardic – până la stop cardio-respirator), șoc anafilactic. În toate cazurile, la apariția primelor simptome ale reacțiilor adverse, se întrerupe imediat introduce-

rea substanței de contrast. În cazul reacțiilor ușoare, această măsură este suficientă, pacientul nu necesită tratament, doar urmărirea atentă până la dispariția completă a simptomelor. În cazul reacțiilor moderate, pacientul necesită tratament medicamentos, care poate fi efectuat pe loc și, de regulă, nu necesită internare în secția de terapie intensivă; în caz de necesitate, tratamentul poate fi continuat în ambulatoriu. Reacțiile grave necesită resuscitare și aplicarea măsurilor de terapie intensivă. Fiecare unitate diagnostică ce efectuează investigații cu introducerea substanțelor de contrast trebuie să fie dotată cu trusă pentru cazuri de urgență, să aibă protocol pentru efectuarea acțiunilor și manipulațiilor de urgență și să dispună de coordonate de contact pentru a apela echipa de resuscitare și terapie intensivă.

Pentru prevenirea situațiilor de urgență, înainte de investigație trebuie să fie evidențiați posibili factori de risc pentru apariția acestora, și anume: reacții adverse deja cunoscute; maladii sau reacții alergice în antecedente, independent de factorul care le-a cauzat (astm bronșic, alergii alimentare etc.); maladii cardiovasculare grave, în special cu semne de insuficiență cardiacă, hipertensiune arterială malignă; maladii renale, în special cu insuficiență renală, cu valorile crescute ale ureei și creatininei; diabet zaharat, mielom multiplu, boli de sistem. În toate cazurile de existență a factorilor de risc, decizia privind efectuarea investigației cu introducerea substanțelor radiologice de contrast trebuie să fie bine chibzuită. În limita posibilităților se alege o altă metodă de investigație; în caz de necesitate stringentă a anumor investigații radiologice cu introducerea substanței de contrast, se efectuează premedicație cu glucocorticoizi și preparate anti-histaminice parenteral. Pe tot parcursul investigației, pacientul este urmărit atent, cu atragerea atenției deosebite asupra următoarelor aspecte: cum arată pacientul; dacă pacientul poate vorbi și cum îi sună vocea; respirația pacientului; caracteristica pulsului și modificări ale acestuia, frecvența contracțiilor cardiace și tensiunea arterială.

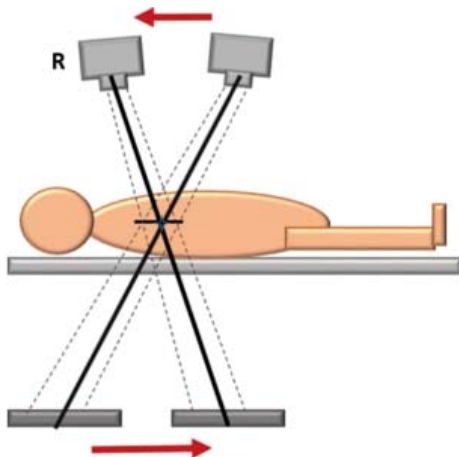
Utilizarea substanțelor de contrast, făcând posibilă vizualizarea unor structuri prin modificarea diferenței de densitate între acestea și cele care le înconjoară, de asemenea, ajută în lupta cu consecințele legii sumăției planurilor, precum suprapunerea imaginilor diferitor structuri situate de-a lungul traiectului razelor X.

### 1.2.6. Tomografia liniară

Pentru diferențierea și evaluarea separată a structurilor, situate în diferite planuri, de asemenea, se utilizează **metodele tomografice**.

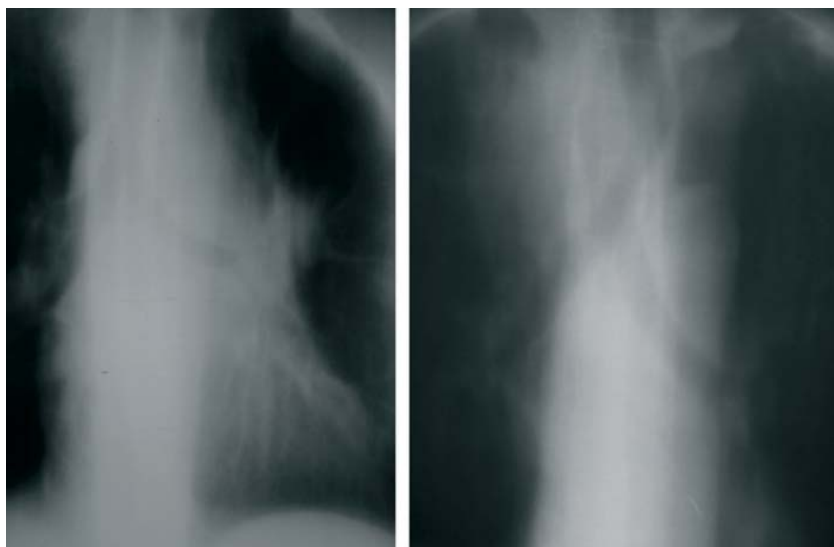
Cuvântul ”**tomografie**” înseamnă ”imaginea unei secțiuni”. Metodele radiologice tomografice includ tomografia liniară (plană, convențională), tomosinteza și tomografia computerizată. Spre deosebire de radiografia standard, unde toate cele 3 componente obligatorii (tubul radiogen, pacientul, dispozitivul detector) sunt nemișcate în timpul examinării, în metodele tomografice rămâne nemișcat doar pacientul; tubul radiogen și ecranul (dispozitivul detector) în timpul investigației se mișcă sincronizat.

Cu scopul obținerii imaginii unei secțiuni alese, în **tomografia liniară** (plană, convențională) (figura 1.24) tubul radiogen și ecranul (caseta cu film radiologic) sunt solidarizate prin intermediul unui braț și în timpul investigației se mișcă sincronizat în direcții opuse, și anume ”pivotează” în jurul unui punct fix pe acest braț.



**Figura 1.24.** Condițiile principale în efectuarea tomografiei liniare (prezentarea schematică). R – tubul radiogen.

Punctul fix este ales de examinator și se stabilește la o distanță egală cu o adâncime anumită de la suprafața corpului pacientului, unde se află planul de secțiune care este preconizat pentru investigație. Astfel, numai structurile situate în planul ales se vor proiecta pe unul și același loc pe ecran, formând o imagine cu o netitate bună, pe când structurile situate anterior sau posterior față de planul ales, se vor proiecta succesiv pe diferite locuri ale ecranului și vor forma o imagine ștersă. În caz de necesitate, poziția punctului fix se modifică, obținând o secțiune în alt plan. O tomografie plană la prima vedere arată ca o imagine radiografică de o netitate proastă (figura 1.25).

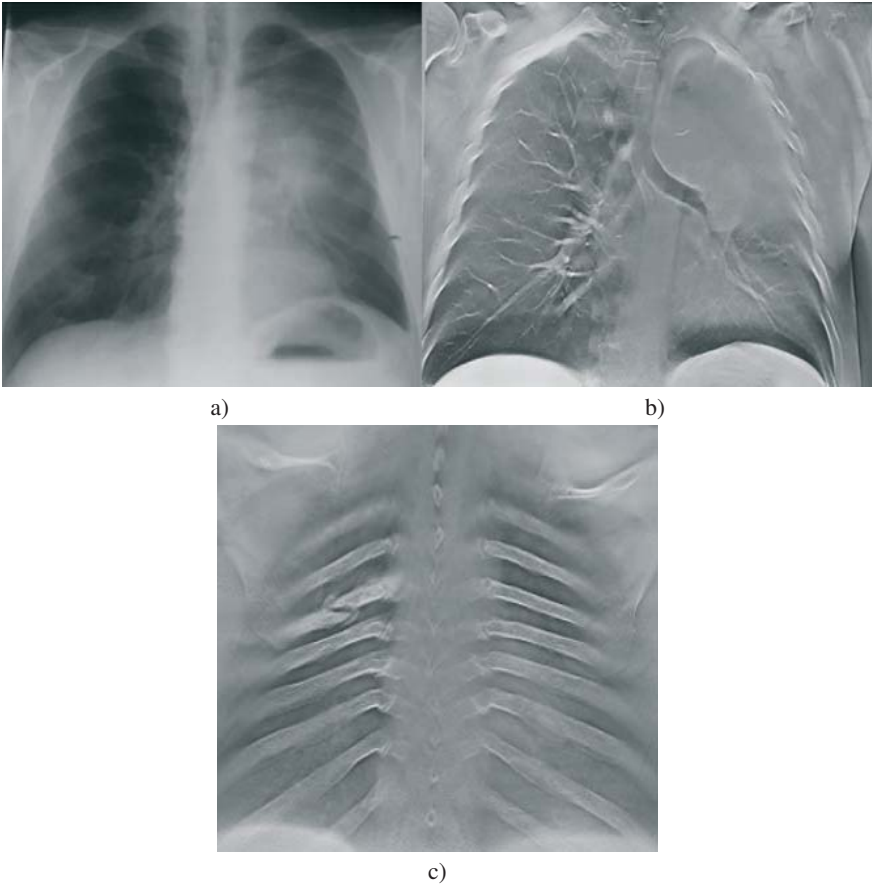


**Figura 1.25.** Tomografia liniară (plană), imaginea țintită a regiunii mediastinului (diferiți pacienți). În ambele cazuri, din toate structurile vizualizate netitatea satisfăcătoare poate fi menționată doar la nivelul traheei.

### 1.2.7. Tomosinteza

În prezent, tomografia convențională aproape că nu se practică, însă principiul ei stă la baza metodei de **tomosinteză**. În tomosinteză se efectuează o serie (secvență) de tomografii plane la o adâncime predefinită, cu o distanță fixă între secțiuni, dintr-o singură achiziție. Informația obținută se procesează în regim digital, creând o imagine finală de calitate înaltă (figura 1.26). Pot fi obținute imaginile în diferite planuri de secțiune, cele mai calitative fiind în plan sagital și coronal (frontal), având în aceste planuri o rezoluție de 0,22-0,44 (mai bună decât rezoluția pentru aceste planuri în tomografia computerizată). Rezoluția în plan axial (transversal) este mai puțin bună și constituie circa 5 mm pentru cutia toracică și 1 mm pentru glanda mamară.

Tomosinteza se utilizează în evaluarea imagistică a cutiei toracice (a arborelui traheo-bronșic, detectarea nodulilor pulmonari), a sistemului osos (tumorile osoase, traumatism vertebral (fracturi ale plăcuțelor subcondrale, fracturi incomplete, subperiostale, fără deplasarea fragmentelor, fracturi ale vertebrelor cervicale la nou-născuți și copii de vârstă fragedă, urmărirea consolidării, evaluarea grefelor osoase)), a glandelor mamare (în special, detectarea tumorilor), în nefrologie, în imagistica dentară. Tomosinteza



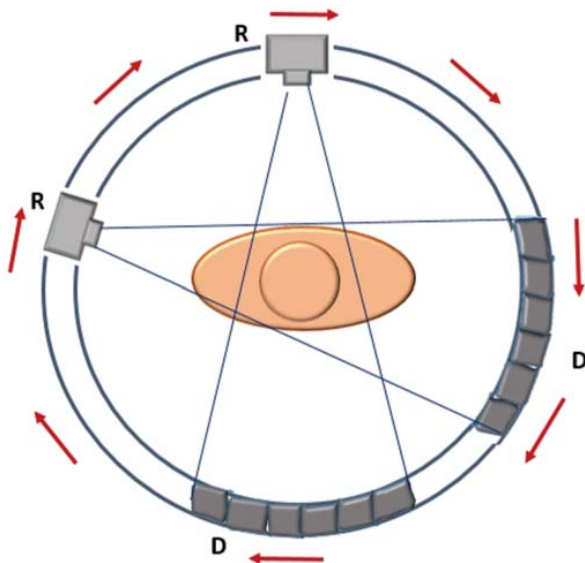
**Figura 1.26.** a) radiografia standard a cutiei toracice, b) tomosinteza. Atelectazia lobului superior al plămânului stâng, amputarea bronșiei lobare superioare stângi, compresie ușoară a bronșiei lobare inferioare; c) alt pacient – tomosinteza relevă fractura arcului posterior al coastei a 6-a din dreapta în consolidare cu formarea calusului osos.

permite evaluarea regiunilor inaccesibile sau greu accesibile pentru investigație prin radiografia standard din cauza localizării și a particularităților anatomice, detectarea formațiunilor de dimensiuni sub 5 mm. Câmpul de examinare este larg (43x43 mm), în caz de necesitate imaginea poate fi mărită în regiunea aleasă.

În comparație cu tomografia computerizată (vezi mai jos), în tomosinteza doza de iradiere este mult mai mică, lipsesc artefacte de la implanturi metalice, rezoluția este mai mare în planul sagital și coronal, însă mai mică în planul axial.

### 1.2.8. Tomografia computerizată

În *tomografia computerizată* (în practică deseori se folosește abrevierea engleză CT, "Computed Tomography"), tubul radiogen și detectorii, de asemenea, sunt în mișcare sincronă: în acest caz ei fac o rotație completă (360°) împrejurul corpului pacientului (figura 1.27).



**Figura 1.27.** Aspectele principale în efectuarea tomografiei computerizate: R – tubul radiogen, D – detectorii.

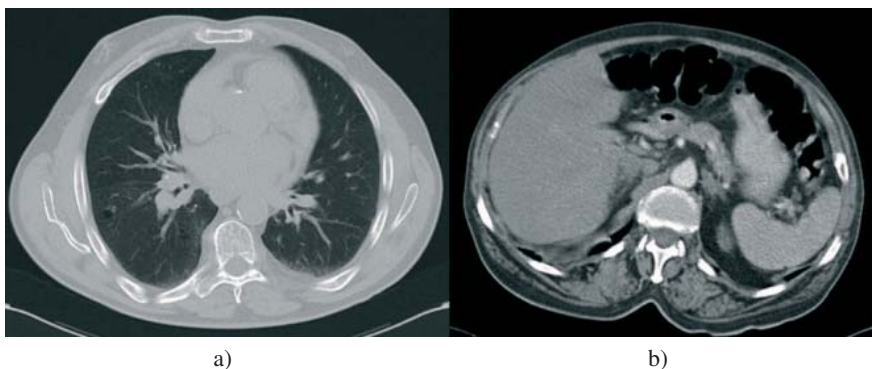
În timpul investigației, pacientul se află în decubit dorsal pe masa de investigație, care, la nivelul regiunii de examinare, este plasată în orificiul inelului, numit *gantry* (engl.), în interiorul căruia se află tubul și detectorii (figura 1.28). Fasciculul de raze X, emis din tub, nu are forma conică, precum în cazul metodelor convenționale, ci este colimat sub formă de evantai, cu o grosime între 1 și 10 mm, ceea ce permite scanarea numai a stratului ales. Datorită acestui fapt, gradul de iradiere a pacientului în timpul tomografiei computerizate este relativ mic. Într-un moment dat la traversarea corpului pacientului, razele X sunt parțial absorbite, în funcție de *densitatea* structurilor traversate; cele care ajung detectorii (cristale de scintilație), provoacă emiterea cuantelor de lumină (fotoni). Fiecare din fotoni se transformă într-un microcurent electric, care apoi este supus prelucrării digitale. Astfel, prin înregistrarea atenuării razelor X, se efectuează o serie de măsurători

ale densităților din una și aceeași secțiune, dar din diferite direcții, ceea ce permite estimarea finală a densității cât mai aproape de cea reală.

Cu ajutorul calculatorului, densitățile fizice se transformă în nuanțe de gri, care formează o imagine alb/negru (figura 1.29).



**Figura 1.28.** Echipamente pentru tomografia computerizată.



**Figura 1.29.** Tomografia computerizată: a) secțiunea la nivelul cutiei toracice (fereastra parenchimatooasă), b) secțiunea la nivelul cavității abdominale.

În terminologia franceză, pentru tomografia computerizată se folosește noțiunea de "tomodensitométrie" (măsurarea densităților pe secțiuni), ceea ce tocmai reprezintă esența metodei. Spre deosebire de radiografia standard, unde distingem doar 5 niveluri de densitate și le distingem vizual (într-un fel subiectiv), tomografia computerizată se bazează pe datele reale achiziționate și permite evidențierea a 2000 de nuanțe de gri. Fiecare dintre acestea este numită *Unitatea Hounsfield* (UH) și în totalitate formează *scara Hounsfield*, scara cantitativă a densităților radiologice, numită în cinstea unuia din creatorii tomografiei computerizate (Alan McCormack în



1963 a publicat un articol consacrat calculelor matematice, care permiteau reconstrucția imaginii creierului după scanarea acestuia cu razele X, iar Sir Godfrey Hounsfield, în fruntea unei echipe de ingineri, studiind aceste materiale, a creat primul prototip al tomografului și în 1972 a prezentat primele rezultate ale scanării creierului cu ajutorul lui. În 1979 lor le-a fost decernat Premiul Nobel pentru Medicină).

În scara Hounsfield, 0 UH corespunde radiodensității apei, -1000 UN – aerului, iar +1000 – oaselor. Astfel, densitatea fiecărei structuri poate fi apreciată cantitativ și exprimată în UH. Structurile cu densitate mai mare decât cea normală în regiunea examinată apar de o culoare mai deschisă (albă) și se numesc *hiperdense*, iar cele cu o densitate mai mică apar mai întunecate și se numesc *hipodense*.

Deși varietatea de densități detectabile este mare, deseori este utilă folosirea substanțelor de contrast radiologice. Pentru efectuarea CT se folosesc substanțele de contrast iodate (radiopozitive hidrosolubile). Utilizarea lor este indicată în explorarea vaselor sangvine (angio-CT); introducerea se face în vena periferică, datorită cărui fapt metoda se consideră neinvazivă. Poate fi indicată introducerea substanței de contrast direct în canale sau colecții lichidiene incapsulate sau în tubul digestiv; în acest ultim caz ele se folosesc, fiind diluate considerabil. Sulfatul de bariu în cazul CT este prea dens și nu se folosește.

Calculatorul este capabil să distingă până la 4 mii de valori ale radiodensităților (coeficienților de atenuare). Însă monitorul poate reproduce calitativ până la 256 de nuanțe de gri (corespunzător numărului de pixeli în matrice), iar ochiul uman poate percepe doar până la 16-20 de nuanțe de gri. Pentru a elimina această neconcordanță, se folosesc așa-numitele ferestre electronice. Fereastra electronică include o parte a scării Hounsfield, aleasă în funcție de scopul investigației, care corespunde radiodensităților caracteristice unui țesut anumit sau unei regiuni anatomice anumite (de ex., fereastra mediastinală, parenchimotoasă, osoasă etc.) (figura 1.29). În limitele ferestrei, fiecare unitate a scării va fi afișată într-o gradare de gri. În caz de necesitate, lățimea ferestrei și a centrului acesteia poate fi modificată. Regiunile ale căror valori de densitate (UH) sunt mai mici decât limita inferioară a ferestrei selectate vor fi afișate în negru pe ecranul monitorului, iar cele care depășesc limita superioară a ferestrei vor fi afișate în alb. În analiza vizuală, reducerea lățimii ferestrei crește contrastul imaginii, în timp ce mărirea lățimii ferestrei face ca imaginea să fie mai puțin contrastantă.

Datele obținute, de asemenea, permit efectuarea reconstrucției regiunii scanate în plan sagital, colonal (frontal), cât și 3D, cu toate că planurile reale de secțiune în tomografia computerizată sunt doar cele axiale (transversale). **O imagine tomografică** (obținută cu ajutorul CT, imagisticii prin rezonanța magnetică, ultrasonografiei, metodelor tomografice ale medicinei nucleare) **este plasată și privită pornind de la poziția imaginabilă a pacientului: în decubit dorsal, examinatorul privind pacientul aflându-se la picioarele acestuia.**

Inițial, o rotație completă a complexului tub-detectori în jurul corpului pacientului era urmată de o mică pauză, în timpul căreia masa de investigație se deplasa puțin, pentru a face posibilă efectuarea secțiunii la un alt nivel. Pacientul era rugat să rețină respirația la efectuarea fiecărei secțiuni, pentru a se evita artefactele legate de mișcare.

În *tomografia computerizată spiralată*, rama rotativă cu tub și detectori din gantry se rotește continuu, iar masa cu pacientul în acest timp se deplasează prin fascicul de raze X. Datorită acestei mișcări, sistemul tub-detectori, rămânând, de fapt, pe loc, descrie o spirală în jurul regiunii de examinare a corpului pacientului. Scanarea reușește în decurs de o apnee a pacientului, ceea ce diminuează considerabil numărul de artefacte legate de mișcare. Și mai important este faptul că timpul scanării prin utilizarea CT spiralate se reduce considerabil, iar ca urmare se reduce considerabil gradul de iradiere a pacientului.

Tomografia computerizată multislice (multiseccțiuni, din engleza), de asemenea, a contribuit la îmbunătățirea calității tomografiilor computerizate. Poziționarea detectorilor în câteva straturi a permis descompunerea fiecărui segment scanat în câteva secțiuni (straturi) cu o grosime mai mică, ceea ce a făcut posibilă evidențierea detaliilor mai mici.

În sistemele din a patra generație, detectorii sunt fixați rigid în jurul întregii circumferințe a cadrului dispozitivului de scanare, dar se rotește numai tubul radiogen. Ca urmare, se reduce timpul de scanare și numărul de artefacte.

### **1.2.9. Radiologia intervențională**

Radiologia intervențională este o subspecialitate a radiologiei moderne, care unește totalitatea metodelor și tehnicilor instrumentale de abord percutan cu ghidarea vizuală, utilizând aparatul de imaginerie medicală. Scopul ei este diagnosticul și tratamentul unei game largi de afecțiuni. În

ultimele decenii radiologia intervențională a câștigat teren, oferind posibilități de tratament prin procedee minimal invazive în cazuri practic din toate domeniile medicinei, care mai înainte nu puteau fi soluționate sau necesitau doar abordare chirurgicală, uneori destul de dificilă.

La baza tuturor metodelor de abord percutan stă tehnica de cateterism percutan arterial, care utilizează un fir-ghid introdus prin acul de puncție, urmat de introducerea coaxială a unui cateter de calibru mai mare decât acul. Tehnica a fost pentru prima dată comunicată de către radiologul suedez Sven Ivar Seldinger în 1953.

Pentru soluționarea problemei, puse în fața radiologului intervenționist, în vasele sangvine/organele/țesuturile pacientului se introduce un cateter, specific pentru un anumit tip de vase sau o manipulație anumită. Controlul introducerii cateterului se efectuează cu ajutorul aparatajului de imagistică medicală (cel mai frecvent este radioscoopia, dar poate fi utilizată ultrasonografia, tomografia computerizată sau chiar imagistica prin rezonanța magnetică). Metoda imagistică asigură controlul vizual al ajungerii cateterului drept la locul-scopul procedurii, permite supravegherea corectitudinii manipulației efectuate și estimarea imediată a rezultatelor.

Radiologia intervențională permite efectuarea:

- Procedeele diagnostice (biopsia, marcarea tumorilor, angiografia etc.);
- Procedeele de tratament:
  - ✓ Endovasculare: angioplastii cu balon, stentare, embolizarea (în cazul tumorilor sau în sângerări ale organelor interne, în anevrismele vasculare), plasarea filtrelor în vena cavă;
  - ✓ Extragerea corpurilor străine (ace, fragmente de catetere intravenoase) din vasele sangvine și cavitățile cordului;
  - ✓ Tratamentul afecțiunilor cardiace: închiderea defectelor septale cu ocluderi, în unele cazuri – protezarea percutană de valvele cardiace;
  - ✓ Tratamente intervenționale oncologice: ablație cu radiofrecvență, chemo-embolizare;
  - ✓ Drenarea chisturilor, abceselor, colecțiilor lichidiene, căilor urinare, căilor biliare etc.;
  - ✓ Tratamentul patologiei vertebrale: nucleoliza enzimatică a unor hernii discale (din regiunea lombară), vertebroplastia ("cimentarea") în caz de osteoporoză vertebrală;
  - ✓ Introducerea locală țintită a medicamentelor.

Majoritatea procedeelelor se efectuează cu incizii cutanate mici (circa 80% cu lungimea sub 5 mm), cu utilizarea anesteziei locale, ceea ce permite contactul cu pacientul în timpul manipulațiilor. În caz de necesitate, procedeul diagnostic imediat poate fi urmat de cel curativ (de ex., angiocoronarografia și angioplastia cu balon cu stentarea arterelor coronariene). În comparație cu tratamentul chirurgical în cazul acelorși maladii, manipulațiile radiologiei intervenționale sunt mai puțin riscante, mai puțin dureroase, au mai puține complicații. Timpul de recuperare a pacientului este mult mai redus față de cel în cazul intervenției chirurgicale, corespunzător și durata spitalizării pacientului este redusă. Structura radiologiei intervenționale este prezentată în figura 1.30.

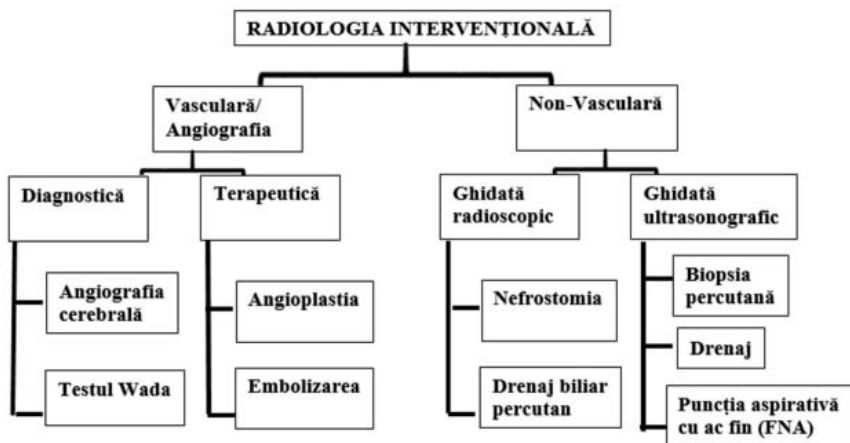
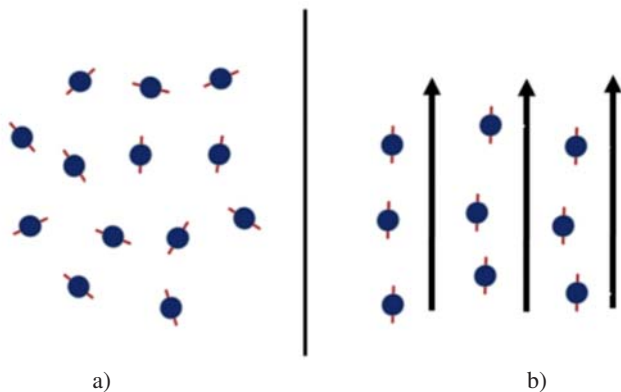


Figura 1.30. Schema structurii radiologiei intervenționale.

### 1.3. IMAGISTICA PRIN REZONANȚĂ MAGNETICĂ. NOȚIUNI GENERALE PRINCIPALE

Imagistica prin rezonanță magnetică (IRM) este în prezent una dintre cele mai moderne și sofisticate tehnologii pentru obținerea unei imagini diagnostice de calitate înaltă, care, în plus, nu folosește radiații ionizante. La baza metodei sunt puse proprietățile magnetice ale nucleilor unor elemente, și anume protonilor de hidrogen (corpul uman conține circa 90% de apă). Proprietățile magnetice ale acestor nucleii sunt cauzate de repartizarea neuniformă a subparticulelor în nucleu: având o anumită sarcină electrică sumară, nucleul este compus din subparticule, care au sarcini diferite; re-

partizarea lor neuniformă duce la predominarea sarcinii pozitive pe un pol și celei negative – pe altul, formând astfel un dipol.



**Figura 1.30.** Schema orientării protonilor de hidrogen din structurile corpului uman: a) în lipsa câmpurilor magnetice adăugătoare; b) fiind plasați într-un câmp magnetic extern puternic.

Un câmp electric în mișcare (rotația în jurul axului propriu – mișcare de spin sau spin nuclear) creează un câmp magnetic, care poate fi reprezentat ca un vector cu o direcție anumită. Astfel, totalul protonilor de hidrogen în corpul uman reprezintă o mulțime de câmpuri magnetice, fiecare cu propria direcție a vectorului, orientarea lor fiind haotică. Fiind plasați într-un câmp magnetic extern, toți acești vectori suferă o orientare paralelă cu direcția vectorului câmpului magnetic extern (aliniere), ca săgeata (acul) busolei în câmpul magnetic terestru (figura 1.30).

În același timp, continuând rotația în jurul axei proprii, protonii de hidrogen vor oscila în jurul axei câmpului magnetic extern (ca un titirez); această mișcare oscilatorie se numește precesie, iar frecvența ei poartă denumirea de frecvența Larmor. Ea este specifică fiecărui nucleu și depinde, de asemenea, de intensitatea câmpului magnetic extern, dar în linii generale se înscrie în limitele frecvențelor caracteristice pentru undele radio. Dacă vom mișca forțat săgeata busolei spre o altă poziție, modificând direcția vectorului ei, această nouă poziție va fi instabilă, iar după ”eliberare” săgeata imediat va relua direcția paralelă cu câmpul magnetic extern. Pentru modificarea direcției vectorului se aplică o energie; întoarcerea la direcția câmpului extern duce la eliberarea energiei, care poate fi achiziționată, procesată cu ajutorul calculatorului și analizată.

Esența fenomenului de rezonanță propriu-zisă în fizică constă în faptul că amplitudinea oscilațiilor crește brusc atunci când frecvența impactu-

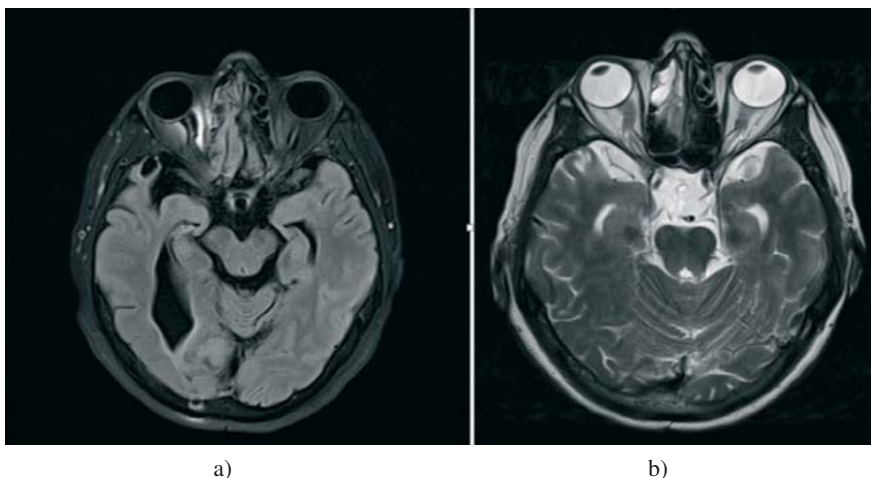
lui asupra sistemului coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor în sistem. Acest fenomen se utilizează pentru a mări amplitudinea semnalului.

Pentru efectuarea investigației imagistice prin rezonanța magnetică, întreg corpul pacientului se plasează în interiorul unui magnet extern puternic; ca rezultat, toți vectorii protonilor de hidrogen se aliniază conform direcției vectorului acestuia. Schematic, după obținerea acestui echilibru, asupra vectorilor protonilor de hidrogen din regiunea de examinat se aplică un impuls extern de unde electromagnetice. Impulsul modifică direcția vectorilor protonilor; după încetarea acestuia, vectorii se aliniază din nou cu direcția câmpului extern (relaxare), emițând la rândul lor un semnal. Pentru a mări amplitudinea semnalului prin crearea fenomenului de rezonanță, undele electromagnetice aplicate sunt cele de radiofrecvență. Pentru aplicarea lor, în regiunea de examinat pe corpul pacientului se plasează dispozitive care se numesc antene sau bobine, diferite pentru diverse regiuni ale corpului; antenele servesc și pentru recepționarea semnalului emis din corp (figura 1.31).



**Figura 1.31.** Sala de examinare și echipamente pentru efectuarea investigației IRM. Pe masa de investigație sunt plasate câteva antene pentru diferite compartimente ale corpului uman.

Semnalul, emis la momentul relaxării, are aceeași radiofrecvență. Intensitatea lui diferă în diferite țesuturi, în funcție de concentrația protonilor de hidrogen, de timpul de relaxare necesar revenirii nucleelor la starea de echilibru energetic inițial (T1 și T2), de timpul de emisie a impulsului de radiofrecvență. Structurile cu intensitatea înaltă a semnalului vor apărea pe imaginea în culoare albă, pentru caracterizarea lor se folosesc termenii *hiperintens* sau în hipersemnal. Structurile cu intensitatea joasă a semnalului vor apărea în culoare întunecată și se vor numi *hipointense* sau în hiposemnal (figura 1.32.).



**Figura 1.32.** Investigația IRM a creierului, secțiunea axială: a) ponderație T1 (structurile lichidiene apar în hiposemnal (de culoare neagră)); b) ponderație T2 (structurile lichidiene apar în hipersemnal).

Scanarea unei regiuni anatomice necesită o serie de secvențe (fiecare cu o durată de la câteva secunde la câteva minute) și, prin urmare, durata investigației este lungă (în medie, circa 30 de minute, dar poate fi și mai lungă); în acest timp pacientul trebuie să rămână nemișcat.

Investigația IRM permite obținerea diferitor planuri de secțiuni *reale* (axiale, coronale, sagitale, oblice), fără a mișca pacientul. Ea este neinvazivă și necesită doar o pregătire minimală din partea pacientului. Contrastul spontan al imaginilor obținute este excelent, în special pentru țesuturile moi; vasele sangvine, căile biliare sau alte structuri lichidiene pot fi evaluate fără a utiliza substanță de contrast. Pentru structurile osoase, IRM nu oferă o vizualizare la fel de bună și nu este metoda de elecție pentru

evaluarea oaselor, cu o singură excepție: detectarea proceselor inflamatorii osoase în stadii incipiente, când are loc edemul osos.

În unele cazuri investigația IRM se efectuează cu utilizarea adăugătoare a substanțelor de contrast. Pentru contrastare în IRM se folosesc substanțele cu proprietăți feromagnetice (pe bază de gadolinu); fiind plasate în câmpul magnetic extern, ele se comportă ca și protonii de hidrogen. Indicațiile, în linii generale, reprezintă cazuri în care este necesar de evidențiat și de evaluat zone cu vascularizare excesivă sau, dimpotrivă, insuficiență: detectarea nodurilor tumorale, caracterizarea lor specifică, diagnosticul diferențial benign-malign; evaluarea perfuziei miocardului cu detectarea zonelor de ischemie și necroză, în special a celor netransmurale și/sau de dimensiuni mici etc.

Metoda este foarte costisitoare, din care cauză până în prezent ea rămâne mai puțin accesibilă, și are contraindicații, care pot fi absolute sau relative. Contraindicațiile relative includ situații ce vor cauza diminuarea calității imaginilor obținute și crearea artefactelor, care pot face dificilă interpretarea imaginilor sau chiar pot fi sursa erorilor diagnostice. De exemplu, investigația IRM a cordului la un pacient cu aritmie severă. Alt grup de contraindicații relative reprezintă pacienții ce suferă de claustrofobie. Pe toată durata unvestigației, pacientul trebuie să stea nemișcat în tunelul magnetului, ceea ce un claustrofob nu este în stare să facă. Totuși, în prezența indicațiilor stringente pentru investigația IRM, ea poate fi efectuată cu aplicarea anesteziei și sub controlul medicului anesteziolog, cu un dezavantaj: cooperarea cu pacientul nu va mai fi posibilă.

Contraindicațiile absolute înseamnă că investigația IRM nu poate fi efectuată pacientului în nici un caz. Acestea includ pacienții cu dispozitive metalice implantate (electrocardiostimulatoare (pacemakeri) sau defibrilatoare împantate, suturi sau cleme metalice etc.) și, de asemenea, pacienții intubați la ventilație artificială.

## 1.4. ULTRASONOGRAFIA

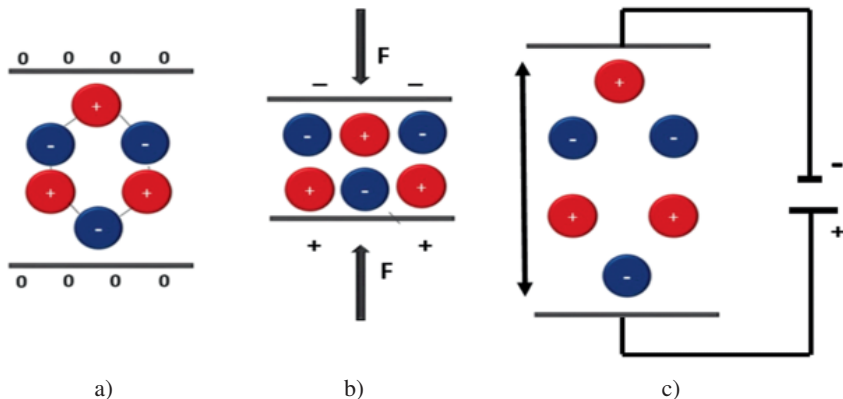
Ultrasonografia (ecografia, ecotomografia) este ramura imagisticii medicale care, spre deosebire de alte ramuri ale ei, se bazează pe utilizarea undelor acustice mecanice longitudinale.

Sunetele perceptibile pentru urechea umană au frecvența de 16 Hz-20000 Hz (2 MHz); în ultrasonografie se folosesc undele cu frecvența 2-20 MHz. Metoda nu folosește radiațiile ionizante, dar are și alte numeroase



avantaje: este relativ puțin costisitoare (cu mult mai ieftină decât tomografia computerizată și investigația IRM) și astfel accesibilă pentru orice pacient, neinvazivă, nedureroasă, poate fi repetată de atâtea ori de cât este nevoie, fiind inofensivă pentru pacient, poate fi efectuată în orice condiții (la patul bolnavului, în sala de operație), interpretarea rezultatelor se face imediat, chiar pe parcursul investigației. Toate acestea fac investigația ultrasonografică de primă intenție în majoritatea patologiilor; în multe cazuri ea este suficientă pentru a formula diagnosticul definitiv și pentru a supraveghea și a aprecia rezultatele tratamentului indicat.

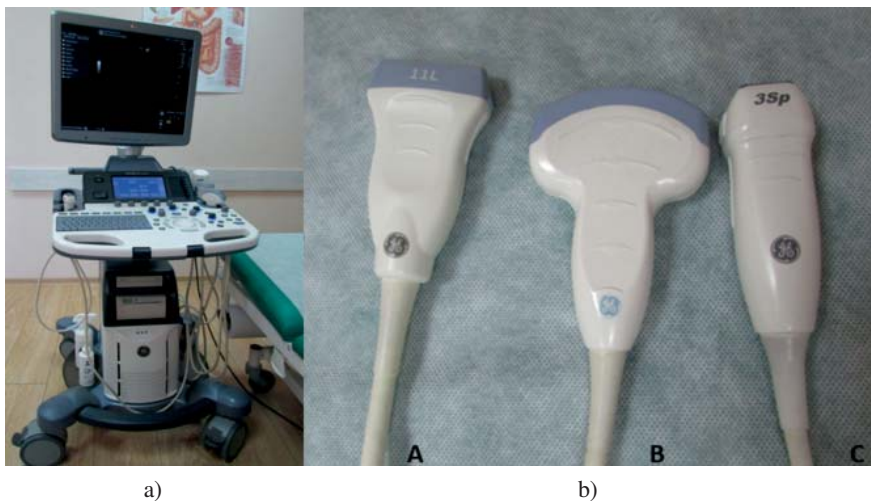
Pentru obținerea undelor ultrasonore se folosește cristalul piezoelectric. Proprietatea principală a acestuia este de a transforma oscilațiile mecanice în cele electrice și invers. Efect piezoelectric posedă cristalele de turmalină, cuarț și alte cristale naturale, precum și multe cristale cultivate artificial. Esența acestui efect constă în faptul că dacă cristalul piezoelectric este supus unei deformații mecanice (comprimării; cuvântul grecesc "piezo" înseamnă "a presa"), între cele două suprafețe ale lui, supuse comprimării, apare o diferență de potențial, și invers, la aplicarea unei diferențe de potențial electric, cristalul va suferi o deformație mecanică (efectul piezoelectric inversat) (figura 1.33).



**Figura 1.33.** Principiul funcționării cristalului piezoelectric: a) starea de repaus; b) acumularea sarcinii electrice sub acțiunea unui stres mecanic (efectul piezoelectric direct); c) deformația mecanică sub acțiunea diferenței de potențial electric (efectul piezoelectric inversat).

Cristalul piezoelectric este plasat în interiorul transductorului (sondei) și funcționează pulsativ: un timp mai scurt pentru emisia semnalului ultrasonor și un timp mai îndelungat pentru recepționarea ecourilor (sondele

contemporane sunt dotate nu cu un cristal, ci cu o matrice de cristale piezoelectrice). Transductorul astfel funcționează și pentru emiterea, și pentru recepționarea semnalului. Forma transductorului poate fi variată, în funcție de obiectul și scopul investigației (figura 1.34).

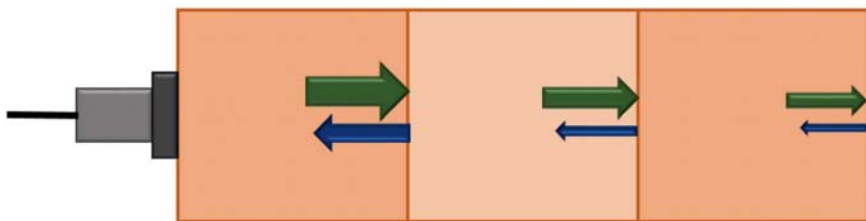


**Figura 1.34.** Echipamente pentru ultrasonografie: a) aparat de ultrasonografie, aspect general; b) unele sonde (transductori) pentru investigația ultrasonografică: A – transductor linear, se folosește pentru examinarea structurilor situate superficial, articulațiilor mici, vaselor sangvine; B – transductor convex, permite examinarea structurilor situate mai adânc, se folosește pentru evaluarea organelor cavității abdominale, aparatului urinar etc.; C – transductor sectorial, domeniul de bază al utilizării – ecocardiografia.

La baza obținerii imaginii stă proprietatea ultrasunetului de a traversa un mediu și de a fi parțial reflectat de la interfață între două medii cu densitate diferită (mai corect spus, cu impedanță acustică diferită. Pentru a caracteriza rezistența mediului la propagarea oscilațiilor sonore se folosește noțiunea de impedanță acustică, care este în funcție atât de presiunea sonică și viteza volumică a undei sonore, cât și de densitatea mediului).

Într-un mediu omogen, ultrasunetele se propagă pe linia dreaptă, cu atenuarea treptată pe măsura propagării, care este invers proporțională cu pătratul distanței parcurse și direct proporțională cu densitatea mediului. Atenuarea se datorează absorbției, dispersiei și dilatării fasciculului de ultrasunete. Viteza de propagare a ultrasunetului într-un mediu omogen este constantă la temperatura dată și depinde de rigiditatea și densitatea mediului traversat; în medii biologice ea este de 1540 m/sec.

În mediul eterogen undele ultrasonore vor fi parțial reflectate de la fiecare obstacol întâlnit (o zonă de trecere între două medii cu impedanță acustică diferită). Ecourile reflectate vor fi recepționate de către transductor numai în cazul în care interfața, de la care ele sunt reflectate, este perpendiculară pe direcția undei ultrasonore (figura 1.35). În toate celelalte cazuri ecourile reflectate vor fi pierdute. Reflecția va avea loc dacă dimensiunile obstacolului vor depăși lungimea de undă ultrasonoră. Grosimea totală a obiectului peste care cade fasciculul ultrasonic trebuie să constituie cel puțin un sfert din lungimea de undă ultrasonoră. Ultrasunetul cu frecvență mai mare (adică cu o lungime de undă mai scurtă) poate fi reflectat de la structuri mai mici. Astfel, sonde cu o frecvență mai mare permit vizualizarea unui număr mai mare de detalii de dimensiuni mici. Dar odată cu reflecția cantității mari de ultrasunete de către structuri mici, scade cantitatea de energie care se poate propaga mai profund. Astfel, penetrabilitatea ultrasunetului scade cu creșterea frecvenței. Sonde cu frecvență înaltă dau o vizualizare mai bună, dar numai a structurilor situate superficial; anume ele sunt utilizate pentru a studia structurile situate mai superficial, pentru investigații intracavitare sau în pediatrie.



**Figura 1.35.** Principiul ultrasonografiei (schemă). Ultrasunetele emise din transductor (săgeți verzi) se propagă în mediu; cu mărirea profunzimii (distanței de la transductor), are loc atenuarea lor. La fiecare interfață între două medii cu impedanță acustică diferită are loc reflecția ultrasunetului (săgeți albastre): se produce un ecou, care este apoi recepționat de către transductorul care servește și ca emițător, și ca receptor al ecourilor (ultrasunetelor).

Diferența dintre impedanța acustică a majorității mediilor biologice (mușchi, sânge, ficat etc.) nu este mare (sutimi). Excepția o constituie gazele (mai frecvent e vorba de aer) sau structurile osoase. Impedanța acustică a aerului este cu mult mai mică, ceea ce produce reflecția totală a ultrasunetului. Impedanța acustică a osului este de câteva ori mai mare, ceea ce duce la absorbția practic totală a ultrasunetelor. În ambele cazuri, ultrasunetul nu se va propaga mai departe și vizualizarea structurilor situate mai profund decât structura osoasă sau cea care conține aer nu va fi posibilă.

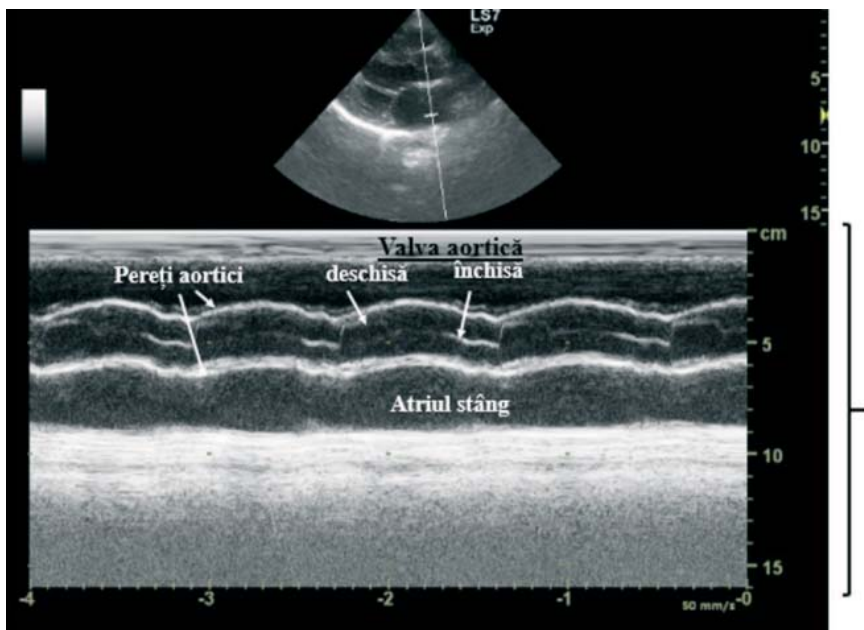
Pregătirea pentru investigația ultrasonografică variază în funcție de regiunea anatomică și organele care constituie obiectul investigației. Pentru explorarea organelor parenchimotoase abdominale, dacă nu e vorba de o situație de urgență, pacientul trebuie să se prezinte la investigație după un post alimentar de 10-12 ore. Dacă investigația este planică, se recomandă de a administra per os preparate ce conțin fermenți digestivi și cărbune medicinal timp de 2-3 zile înainte de investigație, iar în ziua premergătoare de a respecta regimul alimentar cu excluderea produselor gazogene (dulciuri, băuturi gazoase etc.). Măsurile indicate (din păcate, nu totdeauna respectate) duc la diminuarea conținutului gazos în cavitatea abdominală, ceea ce ameliorează cu mult vizualizarea și, respectiv, îmbunătățește calitatea investigației. Pentru explorarea transabdominală a organelor din bazinul mic, pacientul în momentul investigației trebuie să aibă vezica urinară în repleție. Pentru explorarea componentelor tubului digestiv, organele examinate trebuie să fie umplute cu apă. Investigația ecografică a cordului nu necesită nici o pregătire specială.

În timpul investigației pacientul se află în decubit dorsal sau lateral. Examinatorul plasează transductorul pe pielea pacientului în proiecția organelor examinate. Pentru a elimina aerul, între transductor și pielea pacientului se aplică gel pentru ultrasonografie.

Ecografia este o metodă tomografică și permite obținerea diferitor planuri reale de secțiuni (transversale, longitudinale, oblice etc.). Planurile de secțiune le alege operatorul, reieșind atât din regulile standardizate pentru investigația fiecărui organ concret, cât și din datele concrete individuale ale pacientului. Pentru investigația fiecărei regiuni, fiecărui organ (cât și pentru măsurarea compartimentelor lui) există un algoritm strict, care trebuie să fie respectat. Obținerea planului de secțiune, de asemenea, se efectuează arbitrar de către operator, prin rotația, înclinarea sau schimbarea poziției transductorului. Interpretarea imaginilor obținute, de asemenea, îi aparține operatorului. Un alt ultrasonografist, consultând același caz clinic, nu se poate baza pe datele colegului, ci trebuie să refacă investigația de sine stătător. Astfel, rezultatul final în mare măsură depinde de cunoștințele și experiența medicului și acest fapt reprezintă dezavantajul principal al ecografiei, recunoscut în toată lumea: ea este dependentă de operator. Alt dezavantaj, care poate fi uneori important, însă diferă de la pacient la pacient, este dificultatea sau chiar imposibilitatea de a investiga structurile acoperite de oase sau colecții gazoase, sau situate foarte adânc.

Actualmente există mai multe modalități (tipuri) de investigație ultrasonografică, care includ: ecografia în **modul A** (de la cuvântul ”amplitudine”), primul mod aplicat, care reprezintă explorarea țesuturilor pe o singură direcție. Pe ecran vizualizăm o serie de vârfuri, care apar pe o linie dreaptă. Amplitudinea vârfului caracterizează densitatea țesutului, iar distanța dintre ele – adâncimea la care aceste structuri sunt situate. În prezent metoda se folosește relativ rar, ultimul domeniu de aplicație fiind oftalmologia.

**Modul M** (de la cuvântul *motion* (engl.), mișcare), numit și TM (*time – motion*, timp – mișcare) se utilizează pentru evaluarea structurilor în mișcare, în special în ecocardiografie. Ecourile de la pereții cordului se înregistrează pe monitor sub forma unor curbe (figura 1.36). A fost prima modalitate folosită pentru explorarea cordului și până în prezent își păstrează valoarea (chiar rămâne necesară) pentru efectuarea unor măsurători.



**Figura 1.36.** Ecografia în modul M (partea imaginii marcată cu bretele). Actualmente se efectuează sub ghidarea bidimensională (sectorul de mai sus). Secțiunea prin valva aortică și atriu stâng. Din această secțiune se măsoară diametrul antero-posterior al atrului stâng.

**Modul B** (de la cuvântul englez ”brightness”, strălucire), altfel zis ecografie bidimensională (2D), este modalitatea ecografică cea mai frec-

vent utilizată atât pentru obținerea directă a informației, cât și pentru ghidarea altor modalități (modul M, Doppler). Imaginea bidimensională se compune din mulțimea de ecouri reflectate de la structurile situate într-un plan de secțiune. Fiecărui ecou îi corespunde un punct colorat într-o nuanță de gri (de la alb la negru), în funcție de densitatea structurii de la care a fost reflectat (figura 1.37).



**Figura 1.37.** Ecografia 2D a organelor cavității abdominale.

**Modul 3D și 4D** reprezintă reconstrucția virtuală tridimensională (în cazul 4D – tridimensională + timp) a structurilor investigate, bazându-se pe rezultatele scanării reale bidimensionale, și necesită sonde și soft-uri speciale. Imaginile obținute sunt impresionante, însă necesitatea reală și, respectiv, indicațiile sunt relativ limitate.

**Ecografia Doppler** se bazează pe reflecția ultrasunetului de la structurile în mișcare. Dacă în cazul structurilor nemișcate frecvența ultrasunetului emis și a celui reflectat și recepționat va fi una și aceeași, în cazul structurilor în mișcare frecvența ultrasunetului recepționat va fi modificată în funcție de direcția mișcării structurii față de transductor: va fi mai mare în comparație cu cea inițială, dacă obiectul investigației se apropie de transductor, și mai mică – dacă se îndepărtează. Pentru prima dată acest efect a fost descris de către fizicianul austriac Johann Christian Doppler în 1842.

În medicină, în marea majoritate a cazurilor, obiectele în mișcare de la care se reflectă ultrasunetele sunt eritrocitele. Corespunzător, ecografia Doppler se utilizează în primul rând pentru analiza fluxurilor sangvine fiziologice și patologice: detectarea, aprecierea direcției, vitezei, gradientilor presionali, debitului.

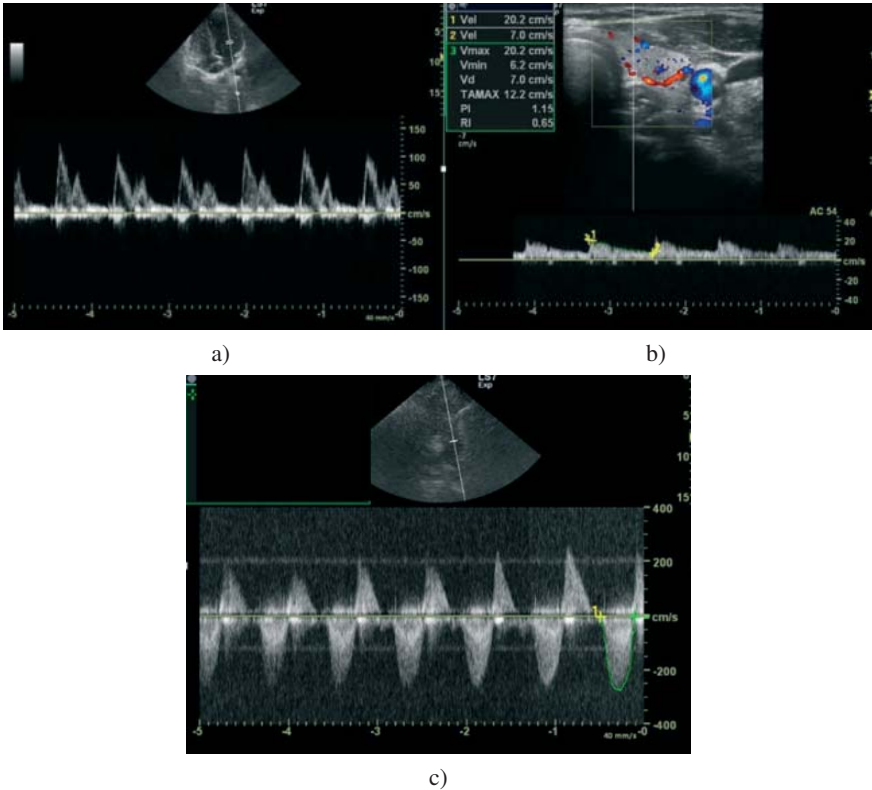
Ecografia Doppler, ca și ecografia "simplă", include un șir de modalități: Doppler spectral (pulsatil și continuu), Doppler color, Doppler tisular etc.

**În modalitatea Doppler pulsatil** un impuls de ultrasunete este emis periodic de către transductor, același transductor recepționează ecoul reflectat, dar selectiv, numai pe cel reflectat de la o anumită distanță, aleasă de către examinator (un loc precis pe linia de emisie). Astfel, poate fi apreciată viteza jetului sangvin în orice punct ales, ceea ce este un mare avantaj. Dezavantajul constă în faptul că viteza pe care o putem măsura este limitată, fiind în funcție de frecvența de repetare a impulsurilor. Real este posibil de măsurat vitezele caracteristice hemodinamicii normale la nivelul vaselor sangvine sau valvelor cardiace, sau cele mărite nesemnificativ. În cazul vitezelor mari (de ex., stenoza valvulară sau vasculară), metoda nu va fi informativă (figura 1.38).

Viteze mari ale jetului sangvin pot fi cuantificate cu ajutorul metodei *Doppler continuu*, cu emiterea și recepționarea continuă a semnalului. În acest caz poate fi apreciată viteza maximală sumară pe toată linia de emisie, oricât de mare ar fi. Dezavantajul este că nu poate fi apreciat locul fix pe linia de emisie, unde anume se accelerează jetul sangvin.

Modalitatea *Doppler color* reprezintă Doppler pulsatil cu codificare în culori. Datorită posibilității aprecierii vitezei și a direcției jetului sangvin într-un punct concret, această apreciere se face în mai multe puncte, după ce se efectuează cartografia (în terminologia engleză se utilizează noțiunea de "color flow mapping", "maparea fluxului de culori"). Prin convenție, orice jet sangvin dirijat spre transductor este codificat în culoare roșie, iar cel dirijat de la transductor – în culoare albastră (figura 1.39).

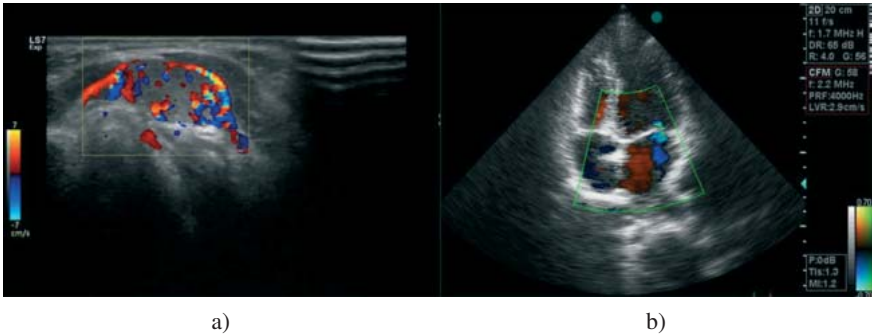
Doppler tisular permite evaluarea țesuturilor în mișcare în timp real, ceea ce a contribuit la evaluarea miocardului. Tehnica Power Doppler este mult mai sensibilă în detecția fluxului sangvin decât Doppler color. Se bazează pe energia semnalului doppler colectat și se folosește pentru a detecta fluxul sangvin în vasele mici situate în interiorul unui organ, cum ar fi un transplant renal. Această tehnică nu oferă în mod corespunzător informații privind direcția fluxului.



**Figura 1.38.** Ecografia Doppler: a), b) Doppler pulsatil (semnul de două liniuțe mici care intersectează linia de emisie indică locul exact ales pentru măsurători); cuantificarea fluxului sanguin la nivelul valvei mitrale (a), sub ghidarea ecografiei 2D și la nivelul vasului sanguin periferic (b), sub ghidarea 2D și Doppler color; c) Doppler continuu: aprecierea vitezei maxime și medii a fluxului sanguin în ventriculul drept – artera pulmonară (pe toată linia de emisie).

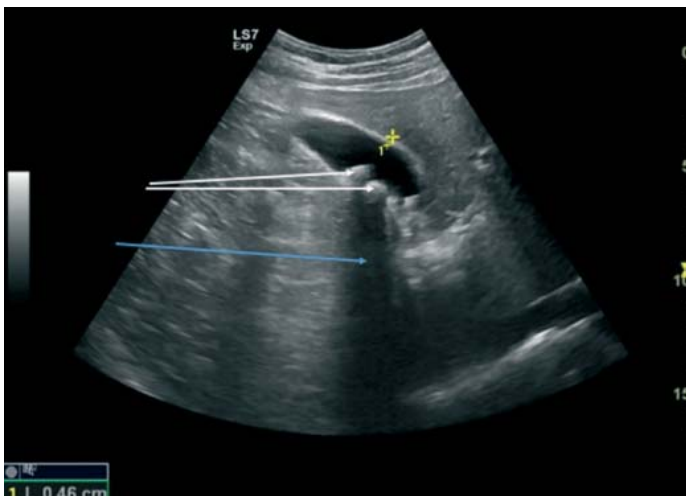
*Semiologia ecografică* se află în funcție de reflexia ultrasunetului de către structurile examinate. Dacă ultrasunetul traversează un mediu lichidian omogen (un chist lichidian, cavitatea cordului, vezica urinară etc.), el nu este nici reflectat, nici atenuat. Lichidul traversat pe ecran va arăta ca o imagine de culoare neagră, numită *anecogenă*. La ieșire din structura lichidiană partea respectivă a fasciculusului de ultrasunete va avea mai multă energie decât restul fasciculusului, trecut prin zonele adiacente. Astfel, interfața dintre structura lichidiană și cea care o urmează va fi mai accentuată și mai evidentă, ceea ce a fost numit ”fenomenul de întărire posterioară”.





**Figura 1.39.** Ecografia Doppler color: a) evaluarea vaselor sangvine ale glandei tiroide (transductor lineal); b) evaluarea fluxului sanguin la nivelul valvei mitrale (transductor sectorial). În ambele cazuri localizarea transductorului corespunde cu nivelul superior al imaginii.

Ecourile reflectate de la diferite structuri vor produce o imagine colorată în diferite nuanțe de gri. Dacă diferența de impedanță acustică și, respectiv, reflexia ultrasunetului va fi mai mare, imaginea va avea culoarea de la gri-deschis până la albă și va fi numită *hiperecogenă*. Și invers, dacă reflexia va fi mai mică, imaginea va avea culoare gri-întunecat și se va numi *hipoecogenă*. Aprecierea unei anumite structuri ca fiind hipo- sau hiperecogenă se efectuează în comparație cu ecogenitatea ei în normă și este într-un fel subiectivă.



**Figura 1.40.** Ecografia organelor cavității abdominale. Se vizualizează vezica biliară (structura de formă ovală cu pereții bine delimitați și conținut anecogen (negru)), care conține calculi (structuri hiperecogene (săgeți albe)), ceea ce se confirmă prin detectarea conului de umbră (săgeata albastră).

Așadar, chisturile lichidiene se vizualizează ca structuri de formă rotundă sau ovală, cu pereți fini, bine delimitați și conținut anecogenic, uneori cu septurile în interior. Organele parenchimoase (ficat, splină, rinichi) în mod normal au ecostructură omogenă (ceea ce înseamnă că imaginea lor este formată dintr-o mulțime de ecouri mici, repartizate armonice). O tumoră solidă, mai densă decât parenchimul adiacent, va apărea ca o structură hiperecogenă, cu o atenuare posterioară ușoară a semnalului. O structură densă (de ex., un calcul) determină o imagine hiperecogenă. Datorită absorbției, uneori totale, a fasciculului ultrasonor, în urma acestor structuri apare o zonă intensiv hipoecogenă. Aceasta zonă se numește ”conul de umbră posterioară” (figura 1.40) și reprezintă elementul semiologic important pentru diagnosticul diferențial, în special, al calculilor.

## 1.5. MEDICINA NUCLEARĂ

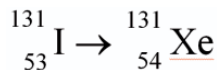
### 1.5.1. Structura atomului și nucleului

Atomul este cea mai mică particulă ce caracterizează un element chimic, fiind format dintr-un nucleu central, în jurul căruia se rotește un număr de electroni. Nucleul este format din protoni și neutroni, care împreună se numesc nucleoni. Protonii au sarcină electrică pozitivă, electronii au sarcină electrică negativă, iar neutronii nu au sarcină electrică. În ansamblu, nucleul are sarcină pozitivă. Într-un atom neutru din punct de vedere electric, numărul electronilor din învelișul electronic este egal cu numărul protonilor din nucleu. Dacă un atom are mai mulți sau mai puțini electroni decât protoni, atunci acesta are o sarcină totală negativă sau pozitivă și se numește ion. În formula chimică, sarcina se indică adesea printr-un supraîndice după simbolul elementului. De exemplu, dacă un atom de Fe a cedat 3 electroni, se obține un ion cu sarcină pozitivă +3 ( $\text{Fe}^{+3}$ ).

**Numărul de masă (A)** reprezintă numărul total al protonilor și neutronilor unui nucleu și se notează cu simbolul A. Prescurtat numărul de masă se indică adesea printr-un supraîndice înainte de simbolul elementului sau prin cratimă după acesta. De exemplu, atomul de iod ce conține 131 de nucleoni (53 protoni și 78 neutroni) este de obicei notat prin  $^{131}\text{I}$  sau I-131.

**Numărul de protoni (Z)** din nucleu definește elementul chimic căruia îi aparține atomul și se numește **număr atomic**. Numărul atomic se notează cu simbolul Z și se indică adesea în partea stângă, jos, înainte de simbolul elementului. De exemplu, dacă unul din neutronii nucleului de I-131 se

transformă în proton ca urmare a emisiei radiațiilor gamma, procesul este asociat cu schimbarea elementului chimic din iod în xenon, deși numărul total al nucleonilor rămâne constant:



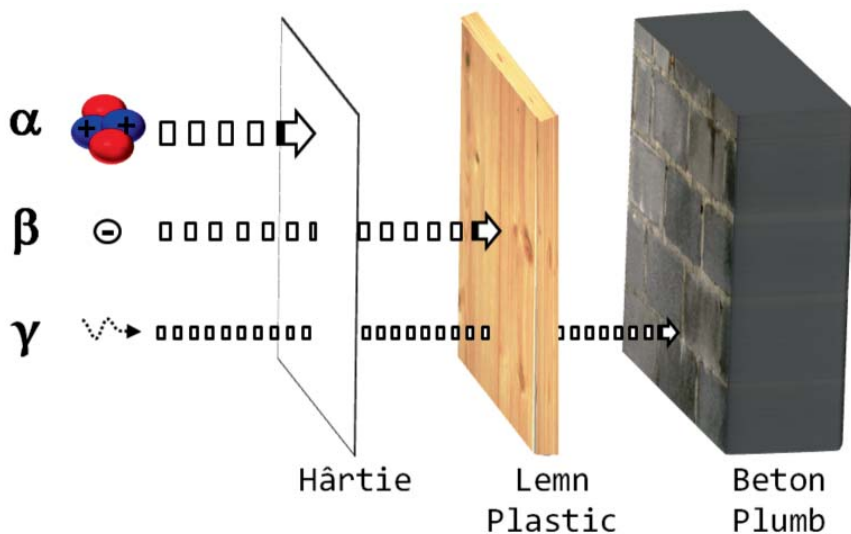
**Numărul de neutroni (N)** poate fi diferit pentru nucleele atomice ale aceluiași element și se notează cu simbolul N. Atomii care au același număr de protoni, însă diferă prin numărul de neutroni se numesc **izotopi**. Izotopii pot fi stabili și radioactivi. Atomii izotopilor radioactivi conțin un număr disproporționat de neutroni față de protoni, de aceea sunt asociați cu dezintegrarea nucleară și emisiile spontane de radiații. Deoarece numărul de protoni rămâne stabil, iar numărul neutronilor diferă, numărul de masă al izotopilor se modifică în funcție de numărul neutronilor din nucleu. Spre exemplu, iodul prezintă 37 de izotopi (de la  ${}^{108}\text{I}$  până la  ${}^{144}\text{I}$ ), dintre care doar unul este stabil ( ${}^{127}\text{I}$ ). Toți cei 37 de izotopi ai iodului conțin însă același număr de protoni în nucleu (53), modificarea acestui număr ducând imediat la transformarea elementului chimic din iod în alt element. Unii izotopi radioactivi precum  ${}^{131}\text{I}$  sau  ${}^{125}\text{I}$  sunt utilizați și în imagistica medicală.

### 1.5.2. Natura și proprietățile radiației alfa, beta, gamma

Radiația reprezintă un proces fizic de emisie și propagare de unde sau de corpusculi. În funcție de aceasta distingem 2 tipuri de radiații: radiații ondulatorii (sau electromagnetice) și radiații corpusculare. Radiațiile ondulatorii sunt caracterizate prin lungimea de undă și frecvența oscilațiilor, principalele tipuri de unde electromagnetice și spectrul acestora fiind prezentate în figura 1.3. Radiațiile corpusculare implică emisia unor particule sau corpusculi precum particule alfa, particule beta, protoni, electroni, deuteroni etc.

Radiațiile ionizante cu efecte biologice majore sunt, de asemenea, clasificate în radiații alfa, beta și gamma, fiecare tip asociindu-se cu caracteristici și penetrabilitate diferită (figura 1.41).

- **Radiația alfa ( $\alpha$ )** este o radiație corpusculară cauzată de emisia particulelor alfa, care constau din 2 protoni și 2 neutroni (figura 1.41). Particula alfa este identică cu un atom de heliu care și-a pierdut cei 2 electroni și poate fi scrisă ca  $\text{He}^{2+}$ . Acest tip de particule poate fi emis de nuclee mai mari, precum cele de uraniu sau



**Figura 1.41.** Ecranarea radiațiilor alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) și gamma ( $\gamma$ ).

radiu, iar procesul este numit dezintegrare alfa. Deoarece particula alfa constă din 2 protoni și 2 neutroni, emiterăa unei astfel de particule este asociată cu scăderea numărului de masă ( $A$ ) cu 4 unități și a numărului atomic ( $Z$ ) cu 2 unități, iar atomul care a emis particula devine un nou element. Astfel, în urma dezintegrării alfa, radiul se transformă în radon. Majoritatea particulelor emise au energii substanțiale (între 3 și 7 MeV), însă datorită masei mari, viteza particulelor alfa este mai mică în comparație cu cea a radiațiilor beta sau gamma. Astfel, viteza relativ redusă, sarcina pozitivă și masa formată din 4 nucleoni contribuie la o penetrabilitate scăzută, particulele alfa fiind stopate de o simplă foaie de hârtie (figura 1.41) sau de straturile exterioare ale pielii la o adâncime de câteva celule. Dacă însă sursa este inhalată sau înghițită, radiația alfa devine una din cele mai distrugătoare forme de radiații ionizante, toată energia particulelor fiind transmisă celulelor adiacente. Același izotop este suspectat de a avea un rol important în îmbolnăvirile de cancer pulmonar cauzate de fumat.

- **Radiația beta** ( $\beta$ ) este, de asemenea, o radiație corpusculară cauzată de emisia particulelor beta. La rândul lor, acestea se clasifică în radiații  $\beta^-$  (sau emisie de electroni) și  $\beta^+$  (sau emisie de pozi-

troni). Deși energia particulelor beta variază în funcție de sursa acestora, majoritatea particulelor beta pot fi stopate de o placă de aluminiu având grosimea de câțiva milimetri, precum și de o placă de plastic sau lemn (figura 1.41). În general, radiațiile beta au o capacitate de penetrare mai mare decât radiațiile alfa și mai mică decât radiațiile gamma. Ca exemplu de emițători de electroni ( $\beta^-$ ) utilizați în medicină pot servi izotopul stronțului  $^{89}\text{Sr}$  administrat în terapia radionuclidică a metastazelor osoase sau izotopul iodului  $^{131}\text{I}$  administrat în terapia cancerului tiroidian. Emițătorii de pozitroni ( $\beta^+$ ), pe de altă parte, stau la baza imagisticii prin tomografia cu emisie de pozitroni (PET).

- **Radiația gamma** ( $\gamma$ ) este o radiație prin unde electromagnetice de frecvențe foarte mari. Spectrul energetic al radiațiilor gamma se suprapune parțial cu cel al radiațiilor X (figura 1.3), diferența de principiu între aceste două tipuri de raze fiind faptul că radiațiile gamma provin din nucleu, sursa acestora fiind radionuclizii, iar radiațiile X provin din exteriorul nucleului, sursa acestora în imagistica medicală fiind tubul radiogen. Radiația gamma are cea mai mare putere de penetrare și nu este deviată de câmpuri electrice sau magnetice. În funcție de energia undelor, acestea pot traversa complet corpul uman, putând fi stopate de materiale dense precum pereți de beton, plăci de oțel sau de plumb, care sunt folosite ca protecție împotriva expunerii la acest tip de radiație (figura 1.41). Datorită capacității de penetrare, razele X și gamma sunt utilizate pe larg în imagistica medicală.

### 1.5.3. Radionuclizi și preparate radiofarmaceutice

Prima investigație cu radionuclizi datează din 1925, când Blumgart și Weiss în SUA au efectuat (și în 1927 au publicat) lucrări privind utilizarea gazului radon pentru evaluarea hemodinamicii la pacienții cu insuficiență cardiacă. Utilizarea mai largă a izotopilor radioactivi cu scop diagnostic în medicină își are începutul din anii '50 ai secolului XX. Actualmente sunt cunoscuți circa 80 de radionuclizi, care sunt folosiți sau au fost folosiți la diferite etape ale evoluției medicinei nucleare. Printre radionuclizii cei mai frecvent utilizați pot fi enumerați tehneciū-99m ( $\text{Tc-99m}$ ), iod-131 ( $\text{I-131}$ ), radioizotopi de xenon, indiu și taliu. Circa 80% de investigații se efectuează utilizând preparate cu tehneciū-99m.

Momentul principal al investigației constă în faptul că substanța radioactivă este introdusă pacientului, după ce se înregistrează radiații (razele gamma), emise din corpul acestuia. Sursa propriu-zisă a razelor gamma este *radionuclidul* – izotopul radioactiv, introdus pacientului, altfel zis, atomul ce emite radiații prin dezintegrare spontană. Una din cele mai importante caracteristici ale radionuclidului este  *timpul de înjumătățire*.

Timpul de înjumătățire fizic reprezintă timpul în care radioactivitatea izotopului (numărul de nuclee dezintegrate) scade la jumătate față de valoarea sa inițială datorită dezintegrării spontane. Radionuclizii cu un timp de înjumătățire fizic de peste câteva săptămâni sunt considerați a fi cu durată de viață lungă, câteva zile – cu durată de viață medie, câteva ore – cu durată de viață scurtă și câteva minute – cu durată de viață ultracurtă. În afara timpului de înjumătățire fizic ( $T_f$ ), în medicina nucleară sunt, de asemenea, utilizați timpul de înjumătățire biologic ( $T_b$ ) și timpul de înjumătățire efectiv ( $T_e$ ). Timpul de înjumătățire biologic reprezintă timpul în care jumătate din preparatul radiofarmaceutic prezent este îndepărtat dintr-un țesut sau organism prin procese biologice. Timpul de înjumătățire efectiv este timpul în care activitatea radionuclidului din organism se reduce la jumătate datorită ambelor procese: atât dezintegrării spontane, cât și eliminării biologice. Relația dintre timpii de înjumătățire poate fi calculată prin formula:  $1/T_e = 1/T_f + 1/T_b$ . Astfel, dacă timpul de înjumătățire fizic al unui radioizotop este de 6 ore, iar timpul de înjumătățire biologic este de 12 ore, timpul de înjumătățire efectiv al izotopului în organism va fi egal cu 4 ore ( $1/6 + 1/12 = 1/4$ ).

Activitatea izotopului înainte de a fi administrat pacientului se măsoară cu ajutorul calibratorului de doză. Controlul de calitate al calibratorului de doză este efectuat zilnic utilizând două surse standard.

Pentru a înregistra razele gamma, emise dintr-un organ concret, radionuclidul, cu unele excepții, se introduce pacientului nu sub forma izolată, ci într-un complex cu o substanță biologică, care în mod normal este consumată din sânge de către celulele specifice ale unui sau altui organ. Astfel se obține acumularea selectivă a radionuclidului în organul vizat sau regiunea de interes. Spre exemplu, Tc-99m fixat de un difosfonat ce este utilizat în procesele metabolice ale țesutului osos stă la baza producerii radiotrasorului osos  $^{99m}\text{Tc-MDP}$  ( $^{99m}\text{Tc-methylene diphosphonate}$ ). După injectarea în organism, acesta va fi încorporat în schelet, reflectând intensitatea metabolismului osos și reperarea zonelor cu metabolism anormal. Tc-99m fixat de substanțe ce sunt eliminate din organism prin filtrare

glomerulară precum acidul diethylenetriaminepentaacetic (DTPA) oferă informații relevante despre rata de filtrare glomerulară, în timp ce Tc-99m fixat de substanțe eliminate preponderent prin secreție tubulară precum mercaptoacetyltriglicina (MAG-3) se utilizează pentru cuantificarea debitului plasmatic renal. Dimpotrivă, Tc-99m fixat de anumiți compuși liposolubili precum acidul iminodiacetic (Tc-99m HIDA), ce sunt preluați din circulație de hepatocite și eliminați în căile biliare, se utilizează pe larg în scintigrafia dinamică hepato-biliară pentru vizualizarea ficatului, căilor biliare și colecistului. Tc-99m fixat de macroagregate de albumină (MAA) ce depășesc în dimensiuni diametrul capilarelor sangvine este utilizat în scintigrafia de perfuzie pulmonară. Pentru investigația hemodinamicii, din contra, va fi ales traserul, care va circula prin patul vascular timp îndelungat, fără a fi extravazat. Compusul chimic care include radionuclidul și substanța biologică cu tropism la un anumit organ și este destinat pentru administrarea unei persoane cu scop diagnostic și/sau terapeutic se numește **preparat radiofarmaceutic**.

Spre deosebire de substanțele de contrast utilizate în investigațiile radiologice, IRM sau ultrasonografie, care pot să fie sau să nu fie introduse pacientului, în funcție de scopul investigației, preparatul radiofarmaceutic se introduce pacientului în mod obligatoriu.

Izotopii utilizați în medicina nucleară pot fi obținuți cu ajutorul reactoarelor, cicloatroanelor și generatoarelor.

Cu ajutorul *reactoarelor* izotopii ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Xe}$ ) pot fi obținuți prin plasarea unei ținte dintr-o substanță stabilă în canalul de neutroni al unui reactor sau prin separarea produselor de descompunere de tije de combustibil sau de țintele de uraniu. Iradierea cu neutroni conduce la o creștere relativă a numărului de neutroni în nucleul atomic al substanțelor obținute, acestea posedând nuclee *bogate în neutroni*. Modificările ulterioare ale nuclidului implică transformarea neutronilor în protoni, proces asociat cu emisie de electroni și raze gamma. Emiterea particulelor  $\beta^+$  și  $\beta^-$  determină o iradiere internă semnificativă a subiectului. Utilizarea radionuclizilor obținuți în reactori în diagnosticul nuclear modern este foarte limitată.

Pentru a reduce doza de iradiere a pacientului în timpul unei investigații diagnostice sunt utilizați radionuclizi cu perioada de înjumătățire relativ scurtă. Producerea unor asemenea izotopi direct în reactoarele nucleare ar fi legată de unele dificultăți precum dezintegrarea acestora în timpul transportării către instituțiile medicale, datorită timpului de înjumătățire relativ scurt. Pentru evitarea acestor probleme sunt utilizate *generatoarele* de ra-



**Figura 1.42.** Generator de Tc-99m utilizat în medicina nucleară.

dionuclizi ce conțin un *radionuclid părinte* cu timpul de înjumătățire mai lung, produs de obicei într-un reactor nuclear, care se descompune treptat într-un *radionuclid fiu* cu timpul de înjumătățire relativ scurt ce poate fi administrat pacientului. Ca exemplu tipic în acest sens poate servi generatorul de Tc-99m utilizat în medicina nucleară (figura 1.42). Radionuclidul părinte din acest generator este molibdenul-99 (Mo-99), care este produs într-un reactor nuclear, are o perioadă de înjumătățire de 66 de ore și se descompune producând Tc-99m, care la rândul său are o perioadă de înjumătățire de doar 6 ore. Astfel, după producerea în reactorul nuclear, molibdenul-99 este plasat într-un container special (generator) ce permite transportarea acestuia către instituțiile medicale, iar Tc-99m obținut în urma descompunerii Mo-99 în timpul transportării și stocării generatorului în instituția medicală poate fi ulterior administrat pacienților în scop diagnostic.

Radionuclizii produși în *ciclotroane* sau acceleratoare de particule ( $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{201}\text{Tl}$ ,  $^{199}\text{Tl}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{18}\text{F}$ ,  $^{13}\text{N}$ ) sunt obținuți prin bombardarea unei ținte cu particule încărcate după accelerarea acestora într-un câmp magnetic. Bombardarea nucleelor cu particule încărcate pozitiv conduce la o creștere relativă a numărului de protoni în nucleul atomic, de aceea elementele obținute în acceleratoarele de particule posedă nuclee relativ *sărace în neutroni*. Având un exces de protoni cu sarcină pozitivă în nucleu, nuclizii produși în acceleratoarele de particule cedează ulterior excesul sarcinii pozitive, dezintegrându-se prin două metode:

- a) captarea electronilor de către nucleu asociată cu emisia radiației



gamma. În cadrul acestui proces unul din protonii în exces din nucleu captează un electron orbital, transformându-se în neutron cu emiterea unui neutrino și a radiației gamma. Deoarece numărul de protoni din nucleu definește elementul chimic căruia îi aparține atomul, fenomenul este asociat, de asemenea, cu transformarea nuclidului într-un nou element chimic. Ca exemple de radionuclizi utilizați în imagistica medicală care se transformă prin captura de electroni pot servi  $^{67}\text{Ga}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{125}\text{I}$  sau  $^{201}\text{Tl}$  (după captarea unui electron transformându-se în  $^{67}\text{Zn}$ ,  $^{111}\text{Cd}$ ,  $^{125}\text{Te}$  și  $^{201}\text{Hg}$  respectiv);

- b) emisia pozitronilor din nucleu. În cadrul acestui proces unul din protonii în exces din nucleu se transformă în neutron cu emiterea unui pozitron și a unui neutrino. Emiterea unui pozitron din nucleu este urmată de cuplarea acestuia cu un electron (datorită sarcinilor opuse și atracției reciproce), procesul fiind asociat cu anihilarea reciprocă și emiterea a doi fotoni cu energia de 511 keV în direcții opuse (la circa  $180^\circ$ ). Datorită modificării numărului de protoni, fenomenul este, de asemenea, asociat cu transformarea nuclidului într-un nou element chimic. Radionuclizii cu emisie de pozitroni sunt pe larg utilizați în tomografia prin emisie de pozitroni. Ca exemple pot servi  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$  sau  $^{15}\text{O}$  (după emiterea unui pozitron transformându-se în  $^{18}\text{O}$ ,  $^{11}\text{B}$  și  $^{15}\text{N}$  respectiv). Unul dintre cele mai frecvent utilizate preparate radiofarmaceutice în tomografia cu emisie de pozitroni este 2-18-F-deoxi-D-glucoza ( $^{18}\text{F}$ -FDG), ce permite evaluarea proceselor metabolice în diverse țesuturi și organe.

Pentru a putea utiliza un izotop radioactiv în diagnosticul medical, acesta trebuie să îndeplinească anumite cerințe:

- Să se dezintegreze cu emiterea doar a razelor gamma;
- Să fie pur, adică să nu conțină alți izotopi radioactivi;
- Să fie stabil, fiind fixat în componența preparatului radiofarmaceutic, pentru a putea urmări acumularea lui în organul sau țesutul respectiv;
- Să fie eliminat din organism cât mai rapid și complet, dar nu prea rapid, pentru a permite efectuarea investigației. De asemenea, este preferabil ca spre sfârșitul investigației doza de radiații emise din organism să se diminueze considerabil: însuși pacientul reprezintă sursa de radiații ionizante și, respectiv, poate prezenta pericol pentru persoanele din jur. Cu acest scop se utilizează izotopii cu timpul de înjumătățire scurt.

#### 1.5.4. Metode clinice de diagnosticare cu radionuclizi

Aparatul utilizat în unitățile de diagnostic cu radionuclizi este cel de detecție și înregistrare a radiațiilor. Elementul de bază este cristalul de scintilație (în componența gamma-camerei), care în contact cu razele gamma sau particule emite cuante de lumină. Energia radiației gamma sau beta se transformă astfel în cuante de lumină și apoi în semnale electrice, care sunt amplificate și analizate. Informația este stocată și procesată digital, iar imaginile obținute reprezintă imagini funcționale ce reflectă distribuția preparatului radiofarmaceutic în organism sau regiunea de interes.

Metodele de diagnosticare cu radionuclizi se divizează în două grupe mari: *in vivo*, când preparatul radiofarmaceutic este introdus pacientului (cel mai frecvent, intravenos, dar poate fi peroral sau inhalator), și *in vitro*, care se efectuează fără a introduce substanța radioactivă nemijlocit pacientului.

Metode de diagnosticare *in vivo* includ investigațiile care permit aprecierea doar a stării funcționale a organului examinat (radiometrie, radiografie) și investigațiile topografice, care permit obținerea imaginii organului prin obținerea imaginii fiecărui punct al acestuia (scanografia (obținerea consecutivă a imaginii fiecărui punct al organului pe hârtie nu se mai utilizează), scintigrafia (afișarea simultană a tuturor punctelor pe monitor), metode tomografice (SPECT, PET – vezi mai jos)).

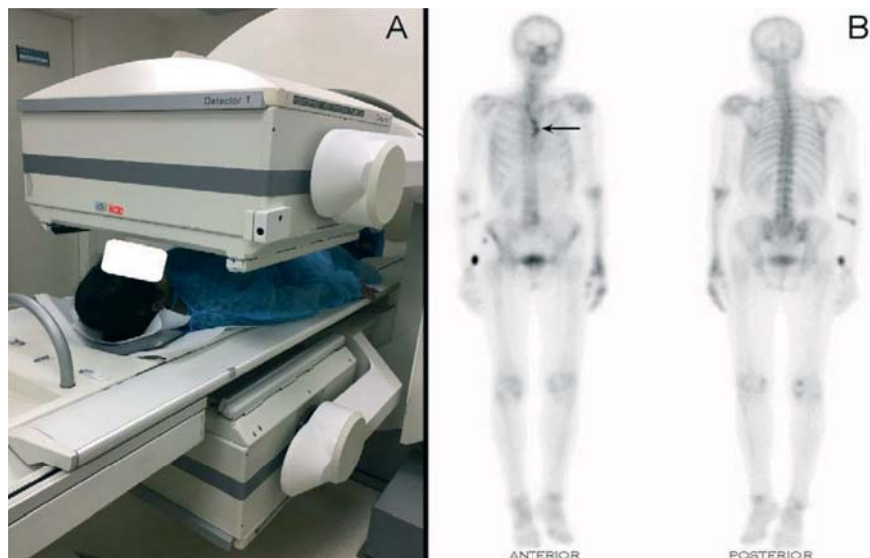
*Radiometria* reprezintă aprecierea nivelului de concentrație a radiofarmaceuticului în organul examinat sau în probele biologice la diferite intervale de timp. Rezultatele măsurătorilor sunt exprimate în procente sau în unități convenționale ca impuls pe minut (imp./min.) și permit estimarea stării funcționale a organului (ex., glanda tiroidă).

În *radiografie* (gammacronografie) se efectuează înregistrarea continuă a trecerii substanței radioactive introduse (exprimată în rata de numărare a impulsurilor). Rezultatele măsurătorilor sunt reprezentate sub forma curbilor – radiogramelor, care sunt analizate și comparate cu curbele normale caracteristice organului examinat. Metoda permite evaluarea vitezei trecerii sângelui prin compartimentele cordului cu calcularea minut-volumului, volumului sângelui circulant, diagnosticarea dereglărilor circulației sanguine în diferite organe (ex., creier, plămâni), aprecierea funcției hepatocitelor, aprecierea stării vascularizării, funcției secretorii și excretorii a rinichilor (curbele renale).

Rezoluția spațială a imaginilor obținute prin metodele medicinei nucleare este destul de joasă (8-10 mm) (figura 1.43 B). Pe de altă parte, distribuția produselor radiofarmaceutice depinde de fluxul sangvin și de

activitatea metabolică. Toate acestea fac ca metodele medicinei nucleare să se concentreze mai mult pe studiul funcțional și metabolic al organelor și sistemelor și mai puțin pe analiza caracteristicilor anatomice și morfologice ale acestora. Prin aceasta, metodele de medicină nucleară sunt fundamental diferite de metodele de investigație radiografică și ultrasonografică. Modificările funcționale, care se produc mai rapid decât cele anatomice, fac metodele de medicină nucleară unice atât în diagnosticul precoce al bolilor, cât și în observațiile dinamice, cu o doză de iradiere a pacientului de aproximativ 100 de ori mai mică decât în cazul unui examen radiologic convențional. Imaginile obținute ale organului studiat indică prezența și dimensiunea unei zone cu distribuția anormală a radiofarmaceuticului, ceea ce semnaleză metabolismul anormal.

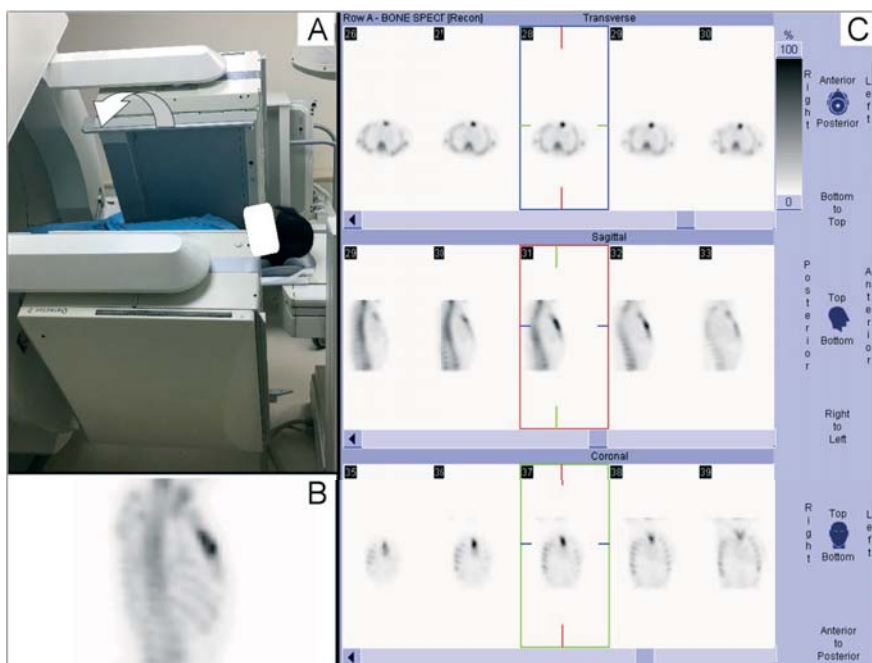
În funcție de substratul patologic și mecanismul de acumulare a preparatului radiofarmaceutic în diverse țesuturi, regiunile cu radioactivitate anormal crescută sunt adesea numite *zone de hiperfixare, noduli calzi, focare hipermetabolice*, iar regiunile cu radioactivitate anormal redusă sau absentă sunt adesea numite *zone de hipofixare, noduli reci sau focare/regiuni fotopenice*.



**Figura 1.43.** Efectuarea scintigrafiei osoase. A – detectoarele (camerele cu scintilație) situate în poziție statică permit obținerea simultană a imaginilor în proiecție anterioară și posterioară. B – imaginile scintigrafice obținute relevă o regiune de acumulare mai intensă a preparatului radiofarmaceutic în regiunea toracelui (indicată cu săgeată).

Imaginile obținute cu camera de scintilație în poziție statică sunt bidimensionale (figura 1.43), iar metoda este numită *scintigrafie*.

Pentru reducerea iradierii pacientului este administrată o doză cât mai mică a preparatului radiofarmaceutic, care permite obținerea unor imagini adecvate, de aceea formarea imaginilor scintigrafice durează o perioadă mai îndelungată comparativ cu formarea imaginilor radiografice, care este practic instantanee. În majoritatea investigațiilor scintigrafice sunt utilizate 2 detectoare (gamma camere), ce permit achiziționarea simultană a imaginilor în 2 proiecții diferite (anterioară și posterioară) (figura 1.43). Sistemele de achiziție a imaginilor scintigrafice care încorporează două sau mai multe gamma camere mai sunt numite *camere cu cap dublu / multiplu*.

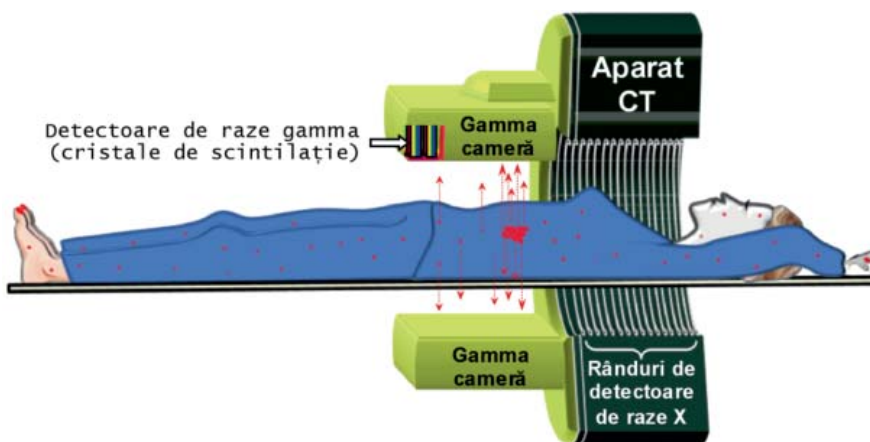


**Figura 1.44.** Tomografia cu emisie de foton unic (SPECT) efectuată pacientului din figura precedentă permite localizarea zonei de acumulare intensă a preparatului radiofarmaceutic în regiunea sternului. A – rotirea detectoarelor în jurul pacientului (zonei anatomiche de interes); B – imagine tridimensională de ansamblu a regiunii scanate; C – vizualizare pe secțiuni a regiunii scanate în plan transversal, sagital și coronal.

Imaginea scintigrafică reprezintă o imagine sumară a organului. Rotirea detectoarelor permite obținerea unor imagini tridimensionale cu vizualizarea pe secțiuni a regiunii scanate (figura 1.44), iar metoda poartă

denumirea de *tomoscintigrafie* sau *tomografie computerizată cu emisie de foton unic* (mai frecvent se folosește abrevierea din limba engleză *SPECT – Single Photon Emission Computer Tomography*).

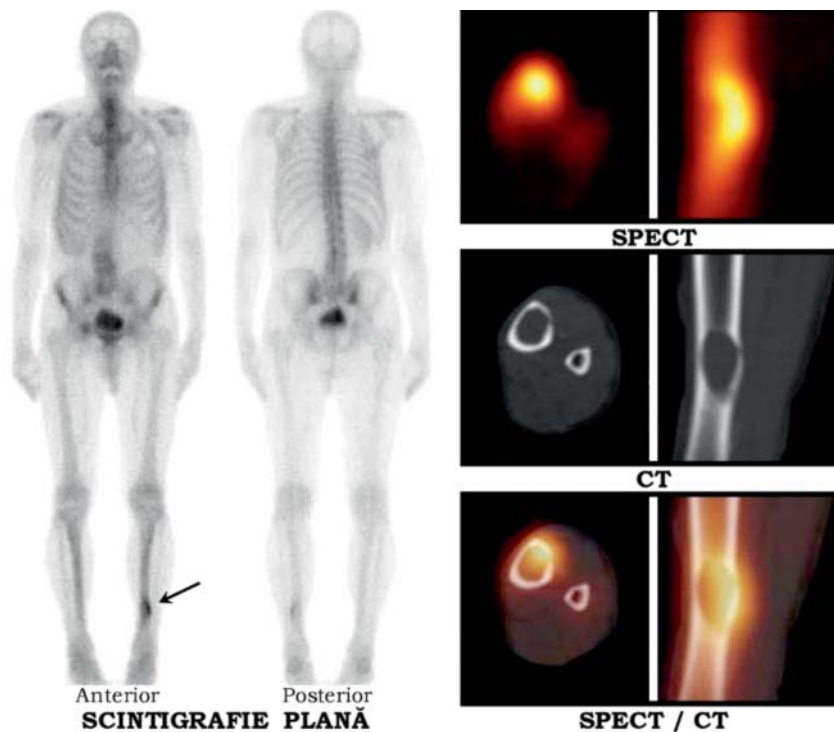
Avantajul major al tomoscintigrafiei comparativ cu scintigrafia plană este legat de îmbunătățirea contrastului și obținerea unor date suplimentare cu posibilitatea vizualizării pe secțiuni a regiunii de interes, iar dezavantajul este legat de creșterea semnificativă a timpului de scanare. Pentru a micșora timpul scanării, se utilizează sistemele cu rotație simultană a două sau mai multe gamma camere. Aparatele moderne permit, de asemenea, utilizarea unor orbite de rotație eliptice ale detectoarelor cât mai aproape de corpul pacientului pentru creșterea rezoluției spațiale și sensibilității investigațiilor efectuate. De notat, de asemenea, faptul că în medicina nucleară, doza de iradiere a pacientului nu depinde de numărul imaginilor obținute, ci de doza preparatului radiofarmaceutic administrat pacientului la începutul investigației. Pentru tomoscintigrafie sunt utilizați aceiași izotopi radioactivi ca și pentru scintigrafie.



**Figura 1.45.** Reprezentare schematică a investigației SPECT/CT. Rotirea gamma camerelor în jurul pacientului permite evaluarea tridimensională și vizualizarea pe secțiuni a distribuției preparatului radiofarmaceutic în regiunea scanată (obținerea imaginilor funcționale SPECT). Efectuarea tomografiei computerizate permite vizualizarea pe secțiuni a țesuturilor și structurilor anatomice în regiunea respectivă (obținerea imaginilor structurale CT). Suprapunerea acestora rezultă în imagini hibrid SPECT/CT, ce permit vizualizarea radiofarmaceuticului administrat în diverse țesuturi și structuri anatomice.

După cum a fost deja menționat, imaginile obținute prin scintigrafie sau tomoscintigrafie (SPECT) reprezintă imagini funcționale ce reflectă distribuția preparatului radiofarmaceutic în regiunea scanată. Evaluarea

rezultatelor investigației este efectuată cunoscând distribuția fiziologică a preparatului radiofarmaceutic administrat, precum și modul de distribuție în diverse patologii. În cazurile necesare, corelarea cu structurile anatomiche este posibilă prin efectuarea unei investigații suplimentare ce permite vizualizarea structurală pe secțiuni a țesuturilor regiunii scanate. Cel mai frecvent în acest scop se utilizează tomografia computerizată, care este efectuată în cadrul aceleiași investigații fără a modifica poziția pacientului. În acest scop sunt folosite aparate hibrid ce includ una sau câteva (cel mai frecvent două) gamma camere cuplate cu un aparat de tomografie computerizată (figura 1.45). Astfel, după efectuarea tomoscintigrafiei (SPECT),



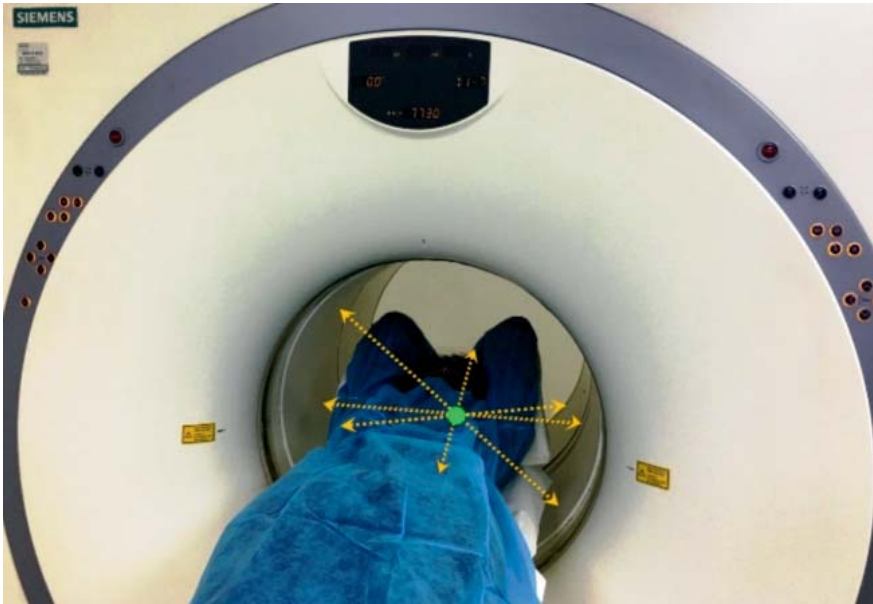
**Figura 1.46.** Scintigrafia plană cu  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP ( $^{99m}\text{Tc}$ -methylene diphosphonate) relevă o zonă de acumulare intensă a preparatului radiofarmaceutic în 1/3 distală a gambei stângi (indicată cu săgeată). Efectuarea tomoscintigrafiei (SPECT) regiunii date permite obținerea imaginilor funcționale și vizualizarea pe secțiuni a distribuției radiofarmaceuticului, iar efectuarea tomografiei computerizate (CT) permite vizualizarea structurilor anatomice în regiunea respectivă. Suprapunerea imaginilor SPECT și CT rezultă în imagini hibrid SPECT/CT, care la pacientul dat localizează acumularea crescută a radiofarmaceuticului în proiecția unei leziuni osoase în 1/3 distală a tibiei.

masa dispozitivului este deplasată în interiorul aparatului de tomografie computerizată (CT), *investigația hibrid* fiind numită *SPECT/CT*. Deoarece pacientul rămâne nemișcat ca parte a unei singure investigații, rezultatele pot fi procesate automat cu suprapunerea distribuției preparatului radiofarmaceutic în diverse structuri anatomice și obținerea imaginilor hibrid SPECT/CT (figura 1.46).

Detectarea modificărilor metabolice incipiente, la stadii cât mai precoce, poate fi efectuată cu ajutorul metodei imagistice moderne ca *Tomografia cu Emisie de Pozitroni* (frecvent se folosește abrevierea din limba engleză *PET – Positron Emission Tomography*). PET utilizează preparate radiofarmaceutice care emit pozitroni din nucleu în timpul dezintegrării. Într-o primă aproximație, pozitronii pot fi considerați ca particule elementare cu sarcina electrică pozitivă și cu masa egală cu cea a electronilor, de aceea pozitronii sunt adesea numiți și *antielectroni*. Un pozitron emis din nucleu se va cupla cu un electron din țesutul adiacent datorită sarcinilor opuse și atracției reciproce, distanța parcursă de pozitron după emisie fiind relativ scurtă (până la câțiva milimetri în țesuturile corpului uman). Procesul este urmat de anihilarea reciprocă a celor două particule, fenomen în care masele electronului și pozitronului sunt convertite în energie electromagnetică sub forma a două cuante gamma de anihilare cu energia de 511 keV, care se deplasează în sensuri opuse de la locul anihilării sub un unghi de 180 grade. Acești fotoni mai poartă numele de *radiație de anihilare*.

Din acest motiv aparatul pentru tomografie de emisie cu pozitroni necesită echipament special atât pentru detectarea ”perechilor” de fotoni cu energia de 511 keV ce ating simultan detectorul (*deteția în coincidență a fotonilor de anihilare*), cât și pentru calcularea traiectoriei și stabilirea exactă a locului în care a avut loc procesul de anihilare în corpul pacientului (figura 1.47). Pentru stoparea fotonilor cu energie atât de înaltă (511 keV), cristalele detectoarelor în sistemele PET sunt compuse din materiale speciale precum aliaje de germanat de bismut (BGO), oxihortosilicat de gadoliniu (GdSiO) sau oxihortosilicat de lutețiu (LuSiO), acestea fiind apoi cuplate cu tuburi fotomultiplicatoare ce captează lumina produsă în scintilator și o transformă în electroni.

Rezoluția spațială a aparatelor PET comerciale disponibile în prezent este în jur de 5 mm, acest fapt datorându-se în parte și distanței parcurse de pozitron în țesuturi până la cuplarea cu un electron și emisia fotonilor de anihilare.



**Figura 1.47.** Scanarea pacientului în aparatul de tomografie cu emisie de pozitroni (PET). Principiul funcționării aparatului este bazat pe detectarea simultană a fotonilor cu energia de 511 keV emiși în direcții diametral opuse în urma anihilării perechii pozitron-electron și localizarea ulterioară a originii fotonilor emiși în corpul pacientului.

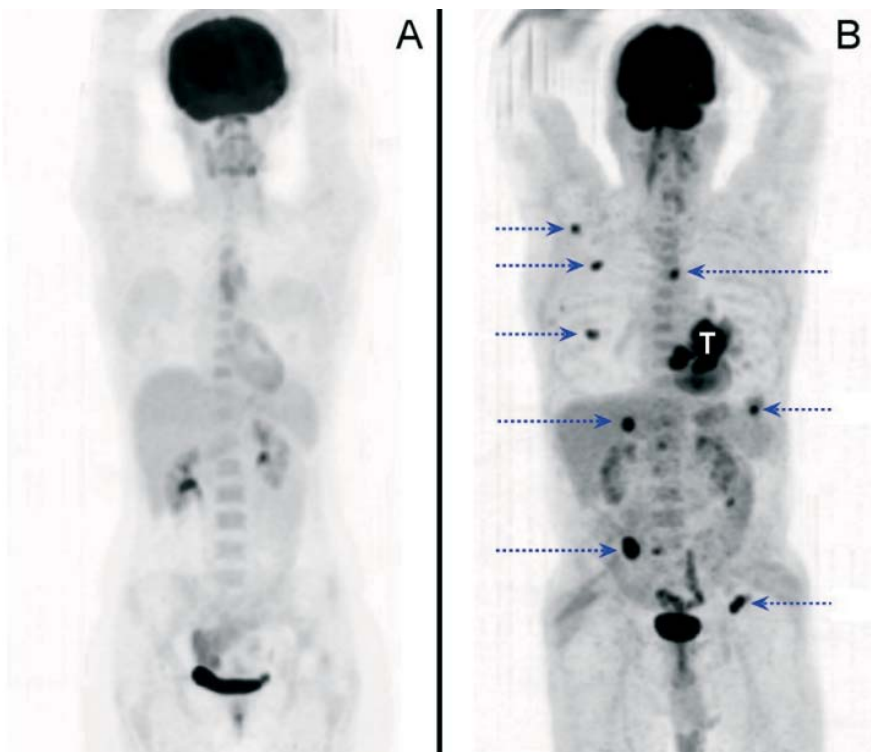
Unul dintre cei mai frecvent utilizați izotopi emițători de pozitroni în practica medicală este un izotop al fluorului –  $^{18}\text{F}$  (timp de înjumătățire fizic  $T_{1/2} = 110$  minute), datorită posibilității atașării acestuia de molecula de glucoză. Preparatul radiofarmaceutic rezultat este 2-18-F-deoxi-D-glucoza ( $^{18}\text{F}$ -FDG) și permite evaluarea proceselor metabolice în diverse țesuturi și organe. Utilizarea  $^{18}\text{F}$ -FDG a căpătat o amploare deosebită în oncologie, permițând diagnosticul și evaluarea detaliată a extensiei proceselor neoplazice datorită metabolismului crescut al țesuturilor tumorale și implicit acumularea unei cantități mai mari de glucoză radiomarcată ( $^{18}\text{F}$ -FDG). Un exemplu de distribuție a  $^{18}\text{F}$ -FDG la un individ sănătos și la un pacient cu cancer pulmonar metastatic este arătat în figura 1.48)

Alte aplicații ale  $^{18}\text{F}$ -FDG includ determinarea metabolismului glucozei în sistemul nervos central și evaluarea unor maladii neurologice (precum detectarea focarelor epileptice sau diagnosticul și evaluarea în dinamică a diverselor tipuri de demență), maladii cardiovasculare (precum evaluarea sarcoidozei cardiace sau evaluarea zonelor de ischemie miocar-



dică și determinarea viabilității acestora), diagnosticul și evaluarea diverselor procese de origine infecțioasă sau inflamatorie etc.

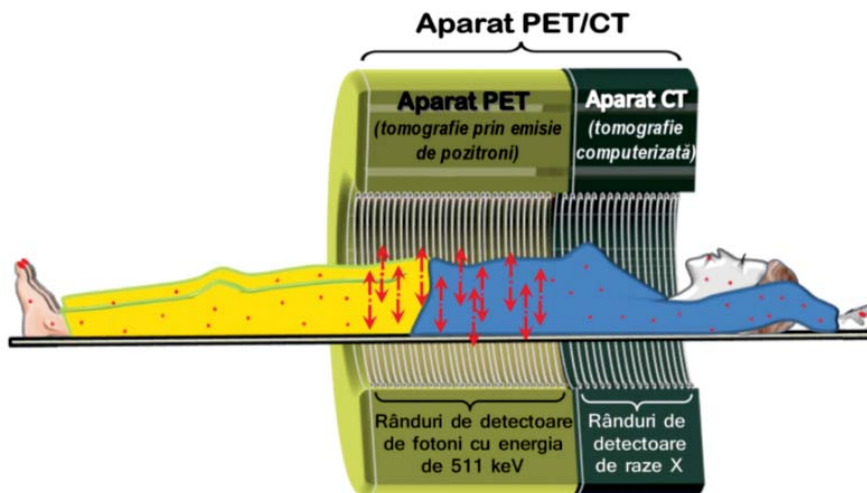
Dificultățile majore ale tomografiei cu emisie de pozitroni sunt legate în primul rând de costul înalt al echipamentului imagistic, precum și de necesitatea prezenței unui accelerator de particule (ciclotron) pentru producerea  $^{18}\text{F}$ -FDG. În lipsa acceleratorului de particule, radiofarmaceuticul poate fi adus din alte localități, însă necesită livrare specială cât mai rapidă (de obicei pe calea aerului) pentru reducerea timpului transportării și a dezintegrării spontane a preparatului radiofarmaceutic înainte de a fi administrat pacienților.



**Figura 1.48.** Imagini de ansamblu obținute prin tomografia de emisie cu pozitroni (PET) cu 2-18-F-deoxi-D-glucoză ( $^{18}\text{F}$ -FDG). A – distribuție fiziologică a preparatului radiofarmaceutic. Se observă activitate fiziologică a  $^{18}\text{F}$ -FDG în structurile cerebrale, precum și eliminarea preparatului în rinichi și vezica urinară. B – distribuția radiofarmaceuticului la un pacient cu cancer pulmonar. Se observă acumulare crescută a glucozei radiomarcate ( $^{18}\text{F}$ -FDG) în tumora primară (T) din plămânul stâng, precum și în metastazele indicate cu săgeți din plămânul drept, ficat, splină și scheletul osos.

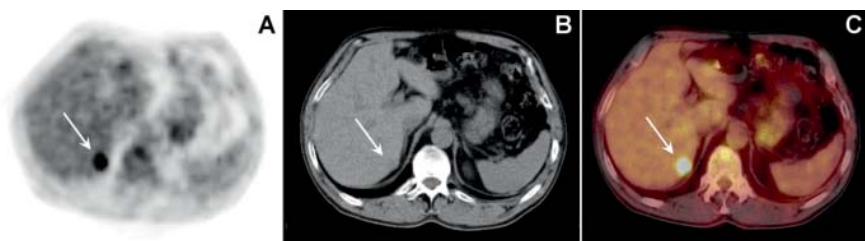
Printre emițătorii de pozitroni utilizați în medicina nucleară poate fi enumerată și o serie de alți izotopi precum  $^{11}\text{C}$  ( $T_{1/2} = 20$  minute),  $^{13}\text{N}$  ( $T_{1/2} = 10$  minute),  $^{15}\text{O}$  ( $T_{1/2} = 2$  minute),  $^{82}\text{Rb}$  ( $T_{1/2} = 75$  sec.). Datorită perioadei de înjumătățire foarte scurte, o mare parte a acestor emițători de pozitroni sunt produși cu ajutorul unui generator înainte de administrare.

Similar investigației SPECT, tomografia cu emisie de pozitroni permite obținerea imaginilor funcționale ce reflectă distribuția radiofarmaceuticului în regiunea scanată. Corelarea cu structurile anatomiche este posibilă doar prin efectuarea unor investigații suplimentare ce permit vizualizarea structurală pe secțiuni a țesuturilor regiunii scanate. De obicei în acest scop este utilizată tomografia computerizată (CT), iar *sistemele hibrid ce includ un aparat PET și un aparat CT sunt numite sisteme PET/CT* (figura 1.49).



**Figura 1.49.** Reprezentare schematică a investigației PET/CT. Tomografia cu emisie de pozitroni (PET) permite evaluarea tridimensională și în diverse secțiuni a distribuției preparatului radiofarmaceutic în regiunea scanată (obținerea imaginilor funcționale PET). Tomografia computerizată (CT) permite vizualizarea pe secțiuni a țesuturilor și structurilor anatomiche în regiunea respectivă (obținerea imaginilor structurale CT). Suprapunerea acestora rezultă în imagini hibrid PET/CT, ce permit vizualizarea radiofarmaceuticului acumulat în diverse țesuturi și structuri anatomiche.

Exemple de imagini obținute prin utilizarea sistemului hibrid PET/CT sunt redată în figura 1.50. Sisteme hibrid ce includ aparate pentru efectuarea tomografiei cu emisie de pozitroni și investigației prin rezonanță magnetică (sisteme PET/IRM) sunt, de asemenea, disponibile.



**Figura 1.50.** Secțiune transversală a unui examen hibrid prin tomografia cu emisie de pozitroni (PET) combinată cu tomografia computerizată standard (CT). A – imagine PET reflectând distribuția  $^{18}\text{F}$ -FDG; B – imagine CT cu vizualizarea structurilor anatomice obținută cu pacientul în aceeași poziție; C – imagine hibrid PET/CT ce reflectă distribuția  $^{18}\text{F}$ -FDG suprapusă pe structurile anatomice. Săgeata indică prezența unei metastaze hepatice.

Radionuclizii în componența preparatelor radiofarmaceutice se utilizează și pentru diagnosticul *in vitro* (*analiza radioimunologică*, abreviere în engleză "RIA"). Momentul principal al cercetării *in vitro* cu radionuclizi îl reprezintă legarea competitivă a substanțelor sau compușilor – obiecte de investigație (atât celor native, cât și preparatelor radiofarmaceutice, identice cu acestea) cu sisteme specifice de legare. În acest caz, preparatele radiofarmaceutice nu sunt introduse pacientului, ci se utilizează lichidele biologice (sânge (mai frecvent), urină). 1-5 ml de substrat biologic este destul pentru efectuarea investigației. Pacientul nu este supus iradierii. Analiza radioimunologică permite determinarea prezenței și cuantificarea diferitor substanțe de origine exogenă și endogenă din sânge – medicamente, hormoni, microelemente, enzime etc. În comparație cu metodele de cercetare biologice și biochimice "tradiționale", analiza radioimunologică are mai multe avantaje: sensibilitatea înaltă, care permite determinarea cantităților mici de substanță ( $10^{-9}$ – $10^{-13}$  g / ml); specificitatea, exactitatea și reproductibilitatea metodei. Principalul dezavantaj este costul relativ înalt al setului standard de reactivi, specific în cazul fiecărui component sangvin. Principiul metodei de *analiză radioreceptivă* nu diferă esențial de analiza radioimunologică, numai enzima se leagă de receptorul hormonal specific al membranei plasmatică sau de citozol. Sensibilitatea analizei radioreceptive este mai mică decât cea a analizei radioimunologice.

## II. RADIOPROTECȚIE

### 2.1. DOZIMETRIE

#### 2.1.1. Dozimetria. Doza absorbită, doza biologică (echivalentă) și doza efectivă.

##### Unități de măsură pentru radiații

Dozimetria este știința care se ocupă cu măsurarea dozelor și estimarea cantitativă a gradului de iradiere sub acțiunea radiațiilor ionizante. Iradierea organismului poate fi atât *externă* datorită radiațiilor cosmice și elementelor radioactive din mediul înconjurător, cât și *internă* datorită substanțelor radioactive inhalate sau ingerate, precum și celor administrate în scop diagnostic sau terapeutic. Tipurile de doze calculate și unitățile de măsură ale acestora pot varia în funcție de natura radiațiilor, precum și de efectele fizice sau biologice produse (tabelul 2.1).

Tabelul 2.1.

Unități de măsură a radiației și doze calculate

	Activitatea sursei radioactive	Doza absorbită (D)	Doza biologică (echivalentă) (H)	Doza efectivă (E)
<i>Unități internaționale (UI)</i>	Becquerel (Bq)	Gray (Gy)	Sievert (Sv)	Sievert (Sv)
<i>Unități vechi / alternative</i>	Curie (Ci)	Rad (Radiation Absorbed Dose)	Rem (Rad Equivalent Man)	Rem (Rad Equivalent Man)
<i>Conversie</i>	$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

• **Activitatea unei surse radioactive** reprezintă numărul mediu de dezintegrări radioactive produse într-o unitate de timp. Noțiunea nu se referă la razele X produse în tubul radiogen, ci doar la substanțele radioactive ce emit radiații în mod spontan. În sistemul internațional, unitatea de măsură este *Becquerel*-ul (Bq) în cinstea fizicianului francez Antoine Henri Becquerel, laureat al Premiului Nobel pentru descoperirea radioactivității spontane. Un Becquerel reprezintă activitatea unui radionuclid ce produce în mod spontan o dezintegrare pe secundă. Unele țări continuă însă să utilizeze și vechea unitate de măsură, numită *Curie* (Ci), un Curie

fiind egal cu activitatea unui gram de radium ( $^{226}\text{Ra}$ ). Orice sursă radioactivă este caracterizată și prin  **timpul de înjumătățire fizică** ( $T_{1/2}$ ), ce reprezintă timpul în care numărul de nuclee radioactive din sursă și, respectiv, radioactivitatea sursei scad la jumătate. Timpul de înjumătățire fizică reprezintă o caracteristică constantă a oricărui radionuclid.

• **Doza de expunere** reflectă capacitatea radiațiilor ionizante de a ioniza aerul și este bazată pe faptul că ionizarea aerului poate fi măsurată direct. Unitatea de măsură a dozei de expunere este *Roentgenul* (R), cea mai veche unitate de măsură pentru doza de iradiere. **Rata expunerii** sau **debitul expunerii** reprezintă raportul dintre expunere și unitatea de timp în care aceasta este produsă și este exprimată frecvent în R/oră sau R/sec. Principalul avantaj este că doza de expunere poate fi ușor măsurată direct cu ajutorul unui contor de radiații, iar principalul dezavantaj îl reprezintă faptul că această doză exprimă doar ionizarea aerului.

• **Doza absorbită (D)** reflectă energia absorbită într-o unitate de masă supusă iradierii și este exprimată în *Gray* (Gy), 1 Gray reprezentând 1 Joule de energie a radiației ce a fost absorbită de 1 kg de materie ( $1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$ ). *Gray*-ul a fost adoptat ca unitate internațională de măsură a dozei absorbite în cinstea fizicianului britanic Louis Harold Gray. Unele țări continuă însă să utilizeze și vechea unitate de măsură, numită *rad*, egală cu 0,01 Gy ( $1\text{Gy} = 100\text{rad}$ ).

• **Doza biologică (H)** (nimută și echivalentul de doză sau **doza echivalentă**) reprezintă doza absorbită într-un țesut, ajustată la tipul radiației. De exemplu, aceleași doze de radiație absorbite în urma administrării unui emițător de raze gamma și a unui emițător de particule alfa vor avea efecte biologice absolut diferite: radiațiile gamma vor avea o distribuție mult mai omogenă în întreaga masă tisulară, în timp ce particulele alfa vor ceda întreaga energie celulelor adiacente, cauzând moartea acestora. Procesul de transmitere a energiei absorbite de-a lungul traiectoriei particulei sau unde de radiație mai este numit **transfer liniar de energie**. Transferul liniar de energie este diferit pentru diverse tipuri de radiație, fiind maxim pentru particulele alfa, care au penetrabilitate redusă și sunt absorbite aproape în totalitate. Doza biologică reprezintă produsul dintre doza absorbită și factorul de pondere (numit și factor de absorbție sau factor de calitate) pentru tipul radiației ( $W_R$ ), care este egal cu 1 pentru radiațiile X și gamma, între 5 și 10 pentru diverse tipuri de neutroni și 20 pentru particulele alfa (tabelul 2.2):

$$\text{Doza biologică (H)} = \text{Doza absorbită (D)} \times \text{Factor de pondere pentru tipul radiației (} W_R \text{)}$$

Astfel, pentru radiațiile X și gamma utilizate în imagistica medicală, doza biologică (sau echivalentă) este practic egală cu doza absorbită, factorul de pondere fiind egal cu 1. Doza biologică (echivalentă) este exprimată în *Sievert* (Sv), 1 Sievert reprezentând doza echivalentă cu 1 Gray pentru țesutul iradiat cu radiații ce au factorul de pondere egal cu 1. De exemplu, 1 Gy de radiație X corespunde dozei biologice (echivalente) de 1 Sv, iar 1 Gy de radiație alfa corespunde dozei biologice de 20 Sv. Iradierea cu 1 Sv de radiație X, radiație gamma sau particule alfa produce același efect biologic. *Sievert*-ul a fost adoptat ca unitate internațională de măsură a dozei biologice în cinstea fizicianului suedez Rolf Maximilian Sievert. Unele țări continuă însă să utilizeze și vechea unitate de măsură, numită *rem* (roentgen equivalent man), egală cu 0,01 Sv (1Sv = 100 rem) (tabelul 2.1).

Tabelul 2.2.

*Doza biologică (echivalentă) și factorul de pondere pentru diverse tipuri de radiație*

Tipul radiației	Doza absorbită (D)	Factor de pondere ( $W_R$ )	Doza biologică (echivalentă) (H)
Raze X	1 Sv	1	1 Sv
Raze gamma	1 Sv	1	1 Sv
Particule beta	1 Sv	1	1 Sv
Neutroni termici	1 Sv	5	5 Sv
Neutroni rapizi	1 Sv	10	10 Sv
Particule alfa	1 Sv	20	20 Sv

• **Doza efectivă (E)** reprezintă doza biologică ajustată la radiosensibilitatea țesutului sau organului iradiat. Este cunoscut faptul că probabilitatea efectului biologic datorat unei anumite doze de radiație variază de la un organ sau țesut la altul. De exemplu, o doză biologică de 1 Sv va avea efecte diferite dacă a fost recepționată preponderent de extremități sau de gonade. Doza efectivă are scopul de a reflecta aceste diferențe și este calculată prin multiplicarea dozei biologice (echivalente) a fiecărui organ iradiat cu un factor de ponderare tisulară ( $W_T$ ) în funcție de radiosensibilitatea acestuia (tabelul 2.3).

$$Doza\ efectivă\ (E) = Doza\ biologică\ (H) \times Factor\ de\ pondere\ tisulară\ (W_T)$$

Astfel, doza efectivă indică doza radiației absorbite de un țesut după ce a fost ajustată atât la tipul radiației, cât și la radiosensitivitatea țesutului, reflectând cel mai precis riscul de expunere la radiații. De aceea doza efectivă mai este definită ca ”suma ponderată a dozelor echivalente absorbite de toate țesuturile și organele organismului din expunere internă și exter-

nă” și este frecvent utilizată în stabilirea diverselor normative sau diverșilor indicatori cu referire la radiația ionizantă și radioprotecție. De exemplu, doza *efectivă* pe care populația o primește anual datorită fonului natural de radiație variază în medie între 2 și 3 mSv în diverse regiuni ale globului, iar doza *efectivă* pentru persoanele expuse profesional la radiație, inclusiv în departamentele de imagistică medicală, este de maximum 20 mSv anual. Unitatea internațională de măsură a dozei efective este *Sievertul* (Sv), similar dozei biologice. Unele țări continuă însă să utilizeze și vechea unitate de măsură, numită *rem* (1 Sv = 100 rem). De reținut și faptul că numai doza absorbită este măsurată, iar doza biologică și doza efectivă sunt calculate. De aceea în cazul expunerii relativ uniforme a întregului corp la raze X sau gamma (precum expunerea la un fon radioactiv crescut), doza absorbită (E), doza biologică sau echivalentă (H) și doza efectivă (E) sunt egale.

Tabelul 2.3.

*Factorul de pondere tisular ( $W_T$ ) utilizat pentru calculul dozei efective (E) în diverse țesuturi și organe conform datelor Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (ICRP) publicate în 2007*

Țesutul sau organul	$W_T$	Suma
Măduva roșie (1), Colon (2), Plămâni (3), Stomac (4), Sâni (5), Organe rămase* (6)	0,12	0,72
Gonade (1)	0,08	0,08
Vezica urinară (1), Esofag (2), Ficat (3), Glanda tiroidă (4)	0,04	0,16
Suprafața osoasă (1), Creier (2), Glande salivare (3), Tegumente (4)	0,01	0,04
<i>Total</i>		1

\* Organele rămase includ glandele suprarenale, regiunea extratoracică, vezica biliară, inima, rinichi, nodulii limfatici, mușchii, mucoasa orală, pancreasul, prostata sau uterul cu regiunea cervicală, intestinul subțire, splina, timusul. Pentru iradierea sumară a acestor organe luate împreună este acordat un factor de pondere tisular = 0,12.

## 2.2. RADIOPROTECȚIE

### 2.2.1. Metode de radioprotecție. Principiile de bază ale radioprotecției

Radiația ionizantă este capabilă să producă o serie de efecte biologice în funcție de doza radiației și radiosensibilitatea țesuturilor. Cu cât mai multe mitoze au loc într-un țesut, cu atât acesta este mai radiosensibil. Sensibilitatea țesutului la radiație crește, de asemenea, odată cu creșterea temperaturii, oxigenării, gradului de hidratare, precum și cu creșterea pH-ului în țesut când mediul devine mai alcalin (pH > 7). În cazul expunerii la radiații ionizante, prognosticul vital depinde atât de doza radiației, cât și de

gradul de afectare a țesuturilor cu radiosensibilitate mare precum măduva osoasă sau epiteliul tubului digestiv, iar efectele pot apărea la scurt timp de la iradiere (efecte deterministice) sau după un interval mai îndelungat (efecte stocastice).

*Efectele deterministice* apar la un timp relativ scurt (zile – săptămâni) după iradiere dacă aceasta depășește un anumit prag și crește în severitate odată cu creșterea ratei de expunere. Unele efecte deterministice și pragul de apariție a acestora sunt prezentate în tabelul 2.4. În genere, efectele deterministice se caracterizează prin:

- prag de apariție (de obicei o doză-prag de câțiva Gray);
- severitatea efectelor crește odată cu creșterea dozei și ratei de expunere;
- sunt relativ specifice în funcție de țesutul afectat și doza de radiație;
- efectele se datorează necrozei unui număr de celule suficient de mare pentru a cauza disfuncționalitatea țesutului respectiv.

*Tabelul 2.4.*

*Efecte deterministice și pragul de apariție a acestora pentru expunerea la radiații X sau gamma*

<b>Efect deterministic</b>	<b>Doza absorbită (D)</b>
Anomalii ale fătului	0,1 – 0,5 Gy
Leucopenie temporară	0,2 – 1 Gy
Grețuri, astenie, imunodepresie	1 – 2 Gy
Eritem cutanat (expunere locală)	2-3 Gy
Căderea părului (depilația după expunere locală)	2-5 Gy
Opacități în cristalin (după expunerea cristalinului)	0,5-2 Gy
Cataractă (la 1-10 ani de la expunerea cristalinului)	> 5 Gy
Boala acută de iradiere (iradierea întregului corp)	> 1-2 Gy
Comă, deces (iradierea întregului corp)	3-10 Gy

*Efectele stocastice* apar la un timp mai îndelungat după o perioadă de latență, care poate atinge câțiva ani sau chiar zeci de ani, și pot fi asociate cu apariția diverselor forme de cancer sau defecte ereditare (genetice) precum sindromul Down. Deși posibilitatea lor de apariție crește odată cu doza, efectele stocastice nu au un prag de radiație specific care ar declanșa apariția lor. Aceste efecte întârziate se datorează celulelor vătămate care au suferit mutații non-letale și transferă informația generațiilor următoare de celule. Dacă celula afectată este un gamet sexual, atunci rezultatul mutației este transmis și se manifestă la persoanele din generația următoare. Dacă însă celula afectată de mutație este o celulă somatică, rezultatele mutației



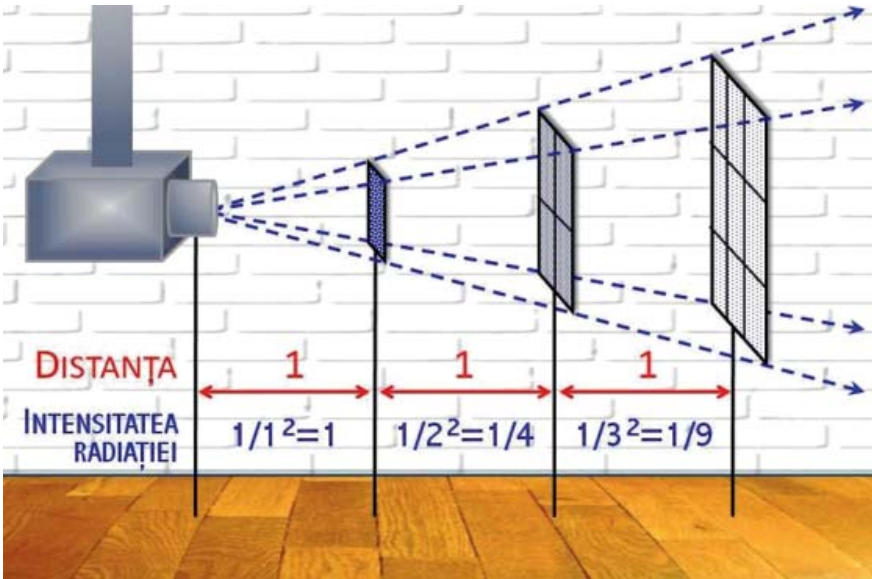
pot genera diverse cancere sau leucemii la persoana care a fost expusă radiației. Efectul mutațiilor produse ca urmare a efectelor stocastice asupra individului și severitatea bolii cauzate sunt după principiul „totul sau nimic” și nu depind de doza inițială. De exemplu, probabilitatea apariției unui cancer crește odată cu creșterea dozei de radiație, însă severitatea și decurgerea maladiei sunt absolut independente de doza de radiație care a cauzat mutația sau mecanismul de producere. În genere, efectele stocastice au următoarele caracteristici:

- nu au un prag de doză distinct, iar efectele pot să apară și la doze foarte mici;
- celula iradiată nu este distrusă, ci doar modificată;
- se datorează modificărilor ADN în celulele somatice sau în gameții sexuali;
- probabilitatea de apariție a mutațiilor crește odată cu doza;
- severitatea maladiilor apărute depinde de tipul mutației;
- după producerea mutației, severitatea bolii este independentă de doza inițială a radiației care a cauzat mutația.

Luând în considerație efectele biologice ale radiațiilor ionizante, de-a lungul timpului au fost elaborate diverse măsuri de protecție, măsuri ce implică protecție fizică, chimică și biologică.

- **Protecția fizică** include câteva elemente de bază cum ar fi reducerea timpului de expunere, creșterea distanței față de sursă, ecranarea surselor de radiație, precum și o serie de măsuri de organizare bine stabilite.
- a) *Timpul de expunere* este direct proporțional cu doza de radiație primită, un timp mai lung fiind direct asociat cu creșterea dozei. De aceea reducerea la minim a timpului în care o persoană se află sub acțiunea radiațiilor ionizante este o componentă importantă a modernizării protocoalelor imagistice pentru diverse investigații, a planificării și a structurii unităților ce dețin surse de radiații ionizante, precum și a instruirii personalului acestor unități.
  - b) *Distanța* de la sursa de iradiere are, de asemenea, o importanță deosebită, aceasta fiind relatată și prin legea pătratului distanței, conform căreia *intensitatea fasciculului de raze X emis de o sursă punctiformă este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursă*. Datorită răspândirii în toate direcțiile, razele ionizante sunt redistribuite pe o arie mult mai mare odată cu creșterea distanței de la sursă, o reprezentare schematică fiind redată în figura 2.1.

De aceea păstrarea unei distanțe cât mai mari de la sursă contribuie la scăderea dozei de radiație.



**Figura 2.1.** Intensitatea fascicului de raze X emis de o sursă punctiformă este invers proporțională cu pătratul distanței de la sursă (legea pătratului distanței). Dacă distanța de la sursă crește de 2, 3, 4 ori – fascicului se împrăștie pe o arie de 4, 9, 16 ori mai mare, intensitatea acestuia scăzând proporțional.

- c) *Ecranarea* se referă la utilizarea diverselor materiale și ecrane protectoare capabile să oprească radiațiile ionizante sau să diminueze semnificativ capacitatea de penetrare a acestora. Exemple includ ecranarea sau carcasarea surselor generatoare de radiații, utilizarea perdelelor și paravanelor mobile radioprotectoare, a pereților întăriți cu folii de plumb, a geamurilor cu săruri de plumb, precum și a mijloacelor individuale de protecție împotriva radiației precum șorțuri sau veste din cauciuc plumbat, ochelari radioprotectori, mănuși din cauciuc plumbat, gulere speciale din cauciuc plumbat pentru protecția glandei tiroide sau a gonadelor etc. (figura 2.2). Modalitățile de ecranare și materialele utilizate pot varia însă în funcție de tipul radiației ionizante:
- ✓ absorbția razelor X și gamma este direct proporțională cu puterea a 4-a a numărului atomic ( $Z$ ), de aceea pentru ecranarea surselor de raze X sau gamma sunt utilizate materiale cu număr atomic mare precum plumbul ( $Z=82$ );

- ✓ radiațiile beta<sup>-</sup>, din contra, sunt absorbite mai bine de materiale ce conțin un procent mare de hidrogen ( $Z=1$ ) precum apa, polietilena, plexiglasul, sau de metale ușoare precum aluminiul ( $Z=13$ ). Interacțiunea particulelor beta<sup>-</sup> (electronilor) cu elemente ce au număr atomic mare precum plumbul sau tungstenul este de fapt asociată cu producerea razelor X (similar efectului întâlnit în tubul radiogen), de aceea utilizarea șorțului sau mănușilor plumbate nu este justificată în acest caz. Pentru ecranarea radiației cu particule beta<sup>-</sup> în medicina nucleară sunt adesea utilizate materiale din plexiglas. Pentru surse puternice sau surse ce emit atât electroni, cât și raze gamma pot fi utilizate ecrane în dublu strat, primul strat fiind din plastic și al doilea din plumb;
  - ✓ pentru ecranarea emițătorilor de pozitroni (radiații beta<sup>+</sup>) sunt utilizate, de asemenea, materiale cu număr atomic mare, similare celor utilizate pentru ecranarea razelor X și gamma, care absorb și radiațiile de anihilare a pozitronilor ce reprezintă radiații gamma.
- d) *Măsurile de organizare* includ o serie de mijloace de securitate în diverse domenii precum producerea și utilizarea substanțelor radioactive, eliminarea deșeurilor, planificarea și construcția încăperilor și departamentelor ce produc sau utilizează radiații ionizante, elaborarea și implementarea normativelor regulatorii în domeniu, utilizarea semnelor de avertizare de pericol de radiații (figura 2.3), instructajul personalului etc. În funcție de nivelul radiației și potențialul expunerii, încăperile din zonele adiacente surselor de radiații ionizante pot fi desemnate ca zone supravegheate sau zone controlate:
- ✓ **zonele controlate** reprezintă zonele cu o rată de expunere ce depășește 7,5 microSv pe oră (7,5 μSv/oră), sunt demarcate corespunzător (figura 2.3), au accesul strict controlat și sunt supuse unor reguli special elaborate;
  - ✓ **zonele supravegheate** reprezintă zonele cu o rată de expunere între 2,5 și 7,5 microSv pe oră (2,5-7,5 μSv/oră), sunt demarcate corespunzător (figura 2.3), au accesul limitat și sunt supuse unor reguli speciale pentru protecție contra radiațiilor sau prevenirea răspândirii contaminării radioactive. Ca o măsură suplimentară de protecție, unele instituții pot declara zone supravegheate orice zone ce nu întrunesc criteriile de a fi zone

controlate, dar pentru care condițiile de expunere profesională trebuie ținute sub observație, chiar dacă în mod obișnuit nu sunt necesare măsuri specifice de protecție și siguranță.

- **Protecția chimică** se realizează prin administrarea înainte de iradiere a unor preparate chimice radioprotectoare, care măresc rezistența organismului la radiații. Mecanismele de acțiune ale acestora pot include scăderea conținutului de apă și, implicit, a hidrolizei cauzate de radiație, scăderea temperaturii corpului și diminuarea metabolismului, diminuarea cantității de oxigen intra- și extracelular, inhibarea sau fixarea radicalilor liberi etc. Histamina, serotonina, precum și unele vitamine și hormoni au, de asemenea, efect radioprotector.
- **Protecția biologică** se realizează prin administrarea imediat după iradiere a unor preparate și macromolecule biologice precum sânge sau plasmă, care au potențial de refacere celulară. Unii pacienți pot necesita și transplant de celule viabile de măduvă roșie pentru restaurarea funcției hematopoietice.



**Figura 2.2.** Șorț din cauciuc plumbat pentru radioprotecție.



Figura 2.3. Semne de avertizare pentru pericol de radiații, precum și ale zonelor controlate și supravegheate.

Sursele de radiații ionizante pot fi grupate în 2 categorii principale: **surse naturale** ce își au originea în natură și constituie fonul natural de radiații și **surse artificiale** ce includ materialele radioactive produse artificial și diverse generatoare de radiații, inclusiv tubul radiogen.

- **Sursele naturale** sunt responsabile pentru aproximativ 80% din doza efectivă medie anuală de radiații ionizante primită de om, incluzând:
  - ✓ *Radonul*, care reprezintă un gaz radioactiv provenit din dezintegrarea radiului, ce este prezent în mediu și în anumite soluri, având o contribuție majoră la fondul natural terestru de radiații (în jur de 40% din contribuția la doza medie anuală, deși concentrația acestuia variază semnificativ în diverse regiuni ale lumii);
  - ✓ *Radiația terestră*, care reprezintă în jur de 14% din contribuția la doza medie anuală și se datorează altor substanțe radioactive (în afara radonului) care există în scoarța pământului;
  - ✓ *Radiația cosmică*, care reprezintă în jur de 13% din contribuția la doza medie anuală și se datorează radiației gamma și celei cu diverse particule ionizante provenite din spațiul cosmic, fiind influențată de o serie de factori precum altitudinea, condițiile atmosferice etc.;
  - ✓ *Radiația determinată de alți radionuclizi din interiorul organismului*, care reprezintă în jur de 13% din contribuția la doza medie anuală și se datorează unor radionuclizi precum K-40 pătrunși în organism prin ingestie sau prin piele.

- **Sursele artificiale** sunt responsabile pentru aproximativ 20% din doza efectivă medie anuală de radiații ionizante primită de om, incluzând:
  - ✓ *Radiațiile datorate expunerii medicale în scop diagnostic sau terapeutic*, care reprezintă peste 19% din contribuția la doza medie anuală;
  - ✓ *Radiațiile care au drept cauză expunerea la alte surse artificiale*, care reprezintă sub 1% din contribuția la doza medie anuală și se datorează radiației rezultate din producerea energiei electrice și armamentului nuclear, transportul și depozitarea deșeurilor radioactive etc.

Doza medie de radiație datorată fondului radioactiv este de aproximativ 2,4 mSv pe an, deși această doză poate varia în diverse regiuni ale globului. Expunerea la radiații ionizante suplimentare fondului radioactiv poate avea diverse origini, iar modalitățile de prevenire sau reducere a efectelor negative sunt legate de principiile radioprotecției. Din punctul de vedere al categoriilor de populație, se deosebesc trei tipuri de expuneri la radiații ionizante (suplimentare fondului radioactiv):

- **expunerea profesională** se referă la expunerea persoanelor autorizate pentru practici cu risc de radiație semnificativ, inclusiv a celor din departamentele de imagistică medicală;
- **expunerea medicală** se referă la expunerea pacienților în unitățile sanitare ca rezultat al procedurilor efectuate în scop diagnostic sau curativ;
- **expunerea publicului** se referă la expunerea persoanelor autorizate pentru practici cu risc de radiație nesemnificativ, precum și la expunerea suplimentară fondului radioactiv în afara expunerii profesionale sau medicale. Exemplele includ expunerea datorată intrării într-o unitate ce utilizează radiații ionizante ca însoțitor al unui pacient, prezenței unei concentrații crescute de radon în subsolul casei, locuirii în vecinătatea unei surse de radiații ionizante, precum și expunerea datorată unor accidente nucleare.

Luând în considerație varietatea efectelor biologice ale radiațiilor ionizante, utilizarea acestora necesită respectarea unor principii de bază de radioprotecție, care sunt implementate la nivel internațional. Acestea includ:

- **Justificarea** – utilizarea radiațiilor ionizante este justificată doar dacă beneficiile pentru persoane și societate sunt mai mari decât

riscurile și efectele negative asupra sănătății pe care le pot avea. În consecință, toate aplicațiile radițiilor ionizante necesită să fie justificate.

- **Optimizarea** – păstrarea la un nivel cât mai scăzut posibil a dozelor individuale de radiație și a numărului persoanelor expuse. Acest principiu este cunoscut și ca principiul ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*, adică un nivel cât mai scăzut posibil, păstrând limitele rezonabile).
- **Limitarea dozelor** se referă la o serie de doze-limită stabilite pentru expunerea profesională și cea a publicului (tabelul 2.5). În situațiile de expunere planificată, suma dozelor de radiații ionizante la care este expusă o persoană sau echivalentul de doză individual nu trebuie să depășească limitele recomandate. Limitele de doză nu se aplică pentru expunerile efectuate în scopuri medicale, care se bazează preponderent pe principiile de justificare și optimizare.

*Tabelul 2. 5.*

*Doze-limită pentru expunerea publicului și expunerea profesională la radiații ionizante conform datelor Comisiei Internaționale de Protecție Radiologică (ICRP) publicate în 2007*

Tip doză	Expunerea publicului	Expunerea profesională
Doza efectivă totală pentru întregul corp	1 mSv anual*	20 mSv anual**
Doza echivalentă pentru cristalin	15 mSv anual	20 mSv anual
Doza echivalentă pentru extremități	-	500 mSv anual
Doza echivalentă pentru piele (doza medie pentru orice suprafață a pielii de 1cm <sup>2</sup> , indiferent de suprafața expusă)	50 mSv anual	500 mSv anual

\* În condiții speciale pentru expunerea publicului se acceptă o doză de până la 5 mSv într-un singur an, cu condiția ca doza medie în 5 ani consecutivi să nu depășească 1 mSv/an.

\*\* În cazul femeilor gravide, doza-limită pentru embrion/făt este de 1 mSv pe tot timpul sarcinii.

### III. RADIOIMAGISTICA APARATULUI RESPIRATOR

Pentru evaluarea imagistică a aparatului respirator se utilizează metode din diferite ramuri ale imagisticii medicale:

- Cele radiologice: radiografia convențională a cutiei toracice; metode cu substanța de contrast – angiopulmonografia (bronhografiă – investigația arborelui bronhial cu introducerea intrabronhială de substanță de contrast opacă actualmente nu se mai practică; investigațiile cu contrastare cu substanțe radionegative precum oxigenul sau aerul filtrat – pneumotorax, pneumopericard, pneumomediastinum actualmente, de asemenea, nu se mai practică); metode tomografice – tomografia plană, tomosinteza, tomografia computerizată;
- Ultrasonografia – utilizarea în diagnosticul patologiei pulmonare este limitată, metoda nu poate înlocui investigațiile radiologice, dar este foarte utilă în evaluarea pleurei, în special, a tumorilor pleurale, colecțiilor de lichid, patologiei țesuturilor moi ale peretelui toracic. În prezent, cu ajutorul aparatului mai performant, se fac studii de evaluare ecografică a proceselor intrapulmonare (pneumoniilor, infarctelor pulmonare, atelectaziilor);
- Medicina nucleară – scintigrafia pulmonară de perfuzie și de ventilație.

#### 3.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ A APARATULUI RESPIRATOR. METODE RADIOLOGICE DE INVESTIGAȚIE A APARATULUI RESPIRATOR

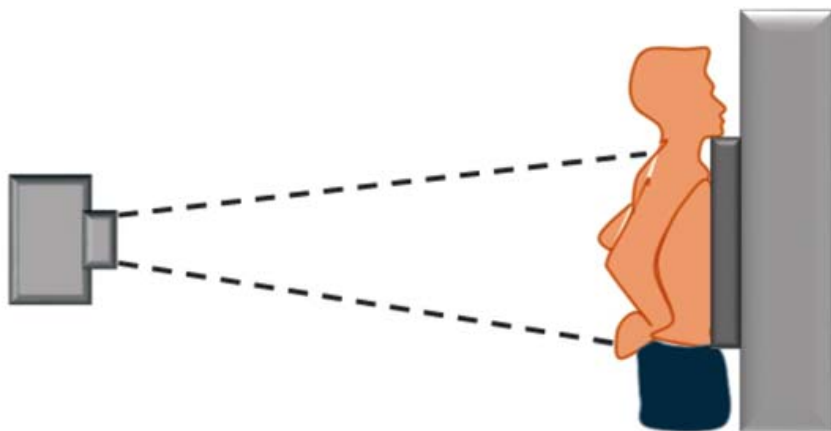
##### 3.1.1. Radiografia cutiei toracice

Radiografia cutiei toracice până în prezent rămâne metoda de primă intenție, totodată și una indispensabilă în explorarea aparatului respirator. Investigația radiografică a cutiei toracice include radiografia postero-anterioară (de față, dorso-ventrală), radiografia antero-posterioară, radiografia laterală (de profil) dreapta și stânga, laterografia, radiografiile țintite. Din toate cele enumerate, investigația de bază este **radiografia standard a cutiei toracice**. Acest termen include unele condiții obligatorii de efectuare, și anume (figura 3.1):



- Investigația se efectuează în poziția verticală a pacientului (în picioare sau șezând, dar cu poziție verticală a toracelui);
- Pacientul este alipit de ecran cu partea anterioară a toracelui, strict față;
- Distanța de la tubul radiologic până la ecran (film) este de 1,5-2 m;
- Palmele plasate la nivelul taliei, deschise spre exterior, cu coatele întoarse spre exterior, pentru a scoate umbra scapulelor din câmpurile pulmonare;
- Investigația se efectuează cu reținerea respirației la inspir profund.

În unele cazuri se efectuează radiografia cutiei toracice antero-posterioară, cel mai frecvent e vorba de pacienții aflați la pat, în stare gravă sau inconștienți.



**Figura 3.1.** Schema efectuării radiografiei standard a cutiei toracice.

Pentru a efectua radiografia *de profil*, pacientul în poziție verticală se întoarce cu partea dreaptă sau stângă, în funcție de indicații, strict perpendicular spre ecran, mâinile ridicate în sus. Radiografia, de asemenea, se efectuează la inspir profund. Investigația se va numi radiografia cutiei toracice de profil stâng în cazul în care pacientul este lipit de ecran cu partea stângă a cutiei toracice sau, dacă este lipit cu partea dreaptă, respectiv, radiografia cutiei toracice de profil drept.

Radiografia cutiei toracice de față în expir poate fi utilă pentru evaluarea mobilității diafragmei. Ea, de asemenea, se efectuează cu scopul evidențierii pneumotoraxului cu cantități mici de aer liber în cavitatea toracică.



**Figura 3.2.** Radiografia standard a cutiei toracice.

Despre *laterografie* este vorba în cazul în care radiografia se efectuează în poziția pacientului culcat pe partea afectată a cutiei toracice. Incidența este indicată pentru evidențierea cantităților nesemnificative de exudat pleural.

Ca rezultat al radiografiei standard a cutiei toracice, obținem o imagine (figura 3.2).

Calitatea și corectitudinea imaginii radiografice obținute se apreciază după unele criterii:

- *Volumul* radiografiei trebuie să includă zona de la nivelul C6 până la nivelul TXII, astfel, pe imagine vor fi prezente superior regiunile apicale, iar inferior sinusurile costo-diafragmale.
- *Poziția pacientului* trebuie să fie *simetrică*. Întoarcerea, chiar și ușoară, spre o parte denaturează dimensiunile reale ale structurilor anatomice și patologice și poate masca unele modificări patologice, de ex., la nivelul hilului. Dacă poziția pacientului este corectă, extremitățile sternale ale umbrelor claviculelor vor fi la o distanță egală de la linia verticală trecută prin apofizele spinosae ale vertebrelor toracice.



**Figura 3.3.** Radiografia cutiei toracice de profil.

- Se verifică dacă radiografia a fost făcută drept în poziție *verticală* a pacientului. În acest caz, va fi vizualizată bula de aer în stomac, localizată sub hemidiafragma stâng.
- Se verifică dacă radiografia a fost făcută drept *la inspir*. În acest caz, hemidiafragma dreaptă este situată la nivelul arcurilor anterioare ale coastelor a V-a – a VI-a;
- Se verifică calitatea expoziției. În cazul expoziției corecte, pe clișeu se văd bine primele 3-4 vertebre toracice, restul vertebrelor toracice nu se vizualizează la fel de bine, dar se disting pe fundalul umbrei mediastinului. În caz de regim corect, pe clișeu vor fi prezente clar nuanțe de culori: alb (regiunea mediastinului), gri (nivelul coastelor), gri-întunecat, aproape negru – parenchimul pulmonar (culoarea cea mai neagră va fi în proiecția aerului alături de corpul pacientului). Pe un clișeu tot gri (fără nuanță neagră) – razele prea moi – detaliile structurale la nivelul mediastinului nu pot fi decelate; pe un clișeu prea contrastant (alb și negru), razele prea dure – nu vom putea decela detalii la nivelul parenchimului pulmonar.

În cazul radiografiei de profil, corectitudinea poziției pacientului se apreciază după poziția sternului (strict în profil) și arcurile posterioare ale coastelor, care practic se suprapun. Pe o radiografie de profil se evidențiază spațiul retrosternal (până la umbra cordului) și spațiul retrocardiac. Dimensiunile cordului sunt redată mai corect pe radiografia de profil stâng.

Pe radiografie de profil umbrele plămânilor se suprapun, din care cauză deseori se efectuează doar un profil, drept sau stâng (figura 3.3.). Pentru a aprecia localizarea corectă a procesului patologic, este necesară efectuarea radiografiei în două proiecții: de față și de profil.

Analiza clișeului radiografic al cutiei toracice include unele aspecte obligatorii consecutive (schema 3.1.).

*Schema 3.1.*

*Etapele analizei clișeului radiografic al cutiei toracice.*

<b>1. Identificarea</b>	Numele pacientului Data efectuării investigației
<b>2. Verificarea calității imaginii</b>	Corectitudinea poziționării pacientului Calitatea expoziției
<b>3. Examinarea structurilor osoase și a țesuturilor moi ale cutiei toracice</b>	
<b>4. Examinarea mediastinului</b>	Silueta cordului; Hilurile pulmonare; Identificarea traheii și a bronhiilor principale
<b>5. Examinarea pleurei</b>	Parietală; Diafragmală; Viscerală; Scizurile
<b>6. Examinarea parenchimului pulmonar</b>	În direcție cranio-caudală Comparația dreapta-stânga Desenul pulmonar
<b>7. Analiza semiologică. Structuri suplimentare</b>	
<b>8. Analiza comparativă cu radiografiile precedente ale pacientului (dacă au fost efectuate).</b>	

### **3.1.2. Anatomia radiologică normală a aparatului respirator**

Structurile anatomice, care se vizualizează pe clișeul radiografic standard al cutiei toracice, pot fi schematic divizate în conținătorul și conținutul toracic.

Conținătorul include structurile ce formează cutia toracică: cele osoase și țesuturile moi. *Structurile osoase* sunt: vertebre, coaste, clavicule, a căror umbră se suprapune peste regiunile apicale pulmonare, scapule, capul osului humeral. Datorită legii sumatției planurilor, sternul nu poate fi decelat pe clișeul standard (de față). Pentru a-l vizualiza sunt necesare radiografiile de profil. Din vertebre se vizualizează mai bine corpurile vertebrale și procesele spinoase în incidența ortogonală. Coastele – pe un clișeu corect pot fi evidențiate arcurile posterioare la primele 9 coaste și arcurile anterioare – la 6. Arcurile anterioare radiografic apar puțin mai late decât cele posterioare și sunt mult mai oblice, fiind orientate medial și caudal, umbra lor vizibilă nu ajunge până la umbra mediastinului (de ce, după părerea Dvs.?). Cele posterioare au direcția mai orizontală și apar mai opace. Coasta reprezintă un os spongios cu stratul cortical subțire; conturul trebuie să fie net și regulat. Netitatea conturului coastelor servește drept unul din criteriile calității imaginii radiografice a toracelui. Spațiile intercostale în mod normal au lățimea egală în regiunile posterioare până la distanța de 3-4 cm de la umbra coloanei vertebrale, mai departe se îngustează treptat.

Țesuturile moi ce formează conținătorul toracic sunt cele situate spre exterior de la structurile osoase și includ pielea, țesutul adipos subcutanat, mușchii și glandele mamare. Din structurile musculare putem distinge marginea externă a mușchiului sterno-cleido-mastoideus. La pacienții cu hipertrofia mușchilor pectorali (sportivi, persoane care lucrează fizic mult), umbra acestora face o ușoară opacifiere bilaterală simetrică, care poate fi detectată în regiunea câmpurilor pulmonare medii.

*Diafragma* delimitează cavitatea toracică din partea inferioară. În mod normal, conturul diafragmei este net și, de asemenea, poate servi drept criteriu al calității radiografiei. Punctul cel mai superior al hemidiafragmului drept în normă este situat mai sus decât cel al hemidiafragmului stâng cu 1-2 cm. Spațiul subdiafragmal din dreapta este opacifiat din cauza prezenței ficatului, fără nici o delimitare vizibilă între ficat și diafragmă. Subdiafragmal, din stânga pe clișeul standard se decelează bula de aer în fundul stomacului.

Cutia toracică normală are forma conică, simetrică bilateral. În afară de toracele normostenic, sunt și alte variante constituționale de configurație a cutiei toracice. La subiecții de tip longilin-astenic, imaginea radiografică a cutiei toracice se caracterizează prin următoarele:

- ✓ Înălțimea toracelui este mai mare decât diametrul transversal la bază;

- ✓ În profil, aspect de torace "plat" cu diametrul antero-posterior redus;
- ✓ Coaste cu direcție oblică;
- ✓ Umbra cordului "în picătură";
- ✓ Cupolele diafragmatice se prezintă coborâte simetric, cu curbura redusă.

La hiperstenici, configurația cu torace brevilin, scurt, imaginea radiografică a cutiei toracice se caracterizează prin:

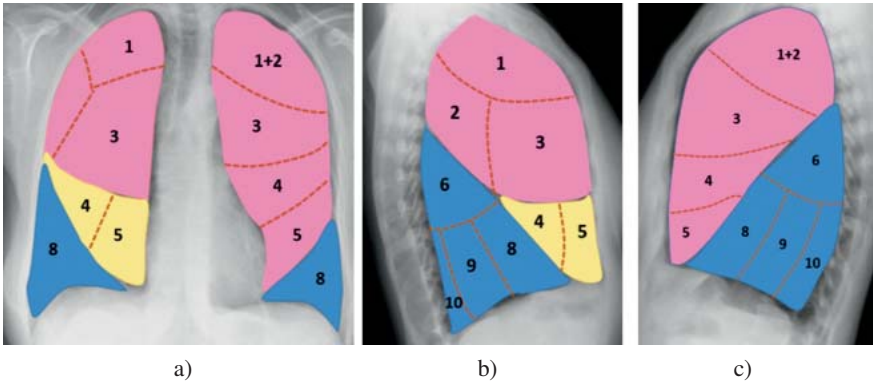
- ✓ Diametrul transversal bazal al cutiei toracice mărit;
- ✓ Diametrul antero-posterior, de asemenea, este mărit;
- ✓ Coastele orizontalizate;
- ✓ Mediastinul cu aspect scurt și larg;
- ✓ Poate fi depistată gibozitatea vertebrală.

Conținutul toracic include organele mediastinale, căile aeriene, plămâni. *Traheea* pe clișeul radiografic de față se vizualizează ca o bandă transparentă și în mod normal este situată strict în mijloc. Traheea se bifurcă la nivelul TIV-TV, unghiul între bronhiile principale la nivelul bifurcației constituie în medie 45-70°, dar nu mai mult de 90°, bronhia dreaptă fiind orientată mai vertical spre inferior decât cea stângă. Bronhiile de calibru mai mic, datorită pereților subțiri și conținutului aer, pe clișeul radiografic nativ în mod normal nu se vizualizează.

*Plămâni*, cu excepția regiunilor hilare, sunt acoperiți cu pleură viscerală, care învaginează între lobi pulmonari și le delimitează unul de altul, formând scizuri. Scizurile uneori pot fi vizibile pe un clișeul radiografic și în normă, ca o umbră liniară foarte fină, dacă sunt situate paralel cu traiectul razelor X. Pleura în alte regiuni, dacă nu este modificată, nu se vizualizează. Câmpurile pulmonare radiografic formează zonele transparente (culoarea cea mai neagră pe clișeu cu excepția zonelor de aer în afara corpului pacientului, dacă acestea sunt incluse în imagine). Sinusurile costo-diafragmale normale sunt bine delimitate, au forma triunghiulară cu un unghi ascuțit.

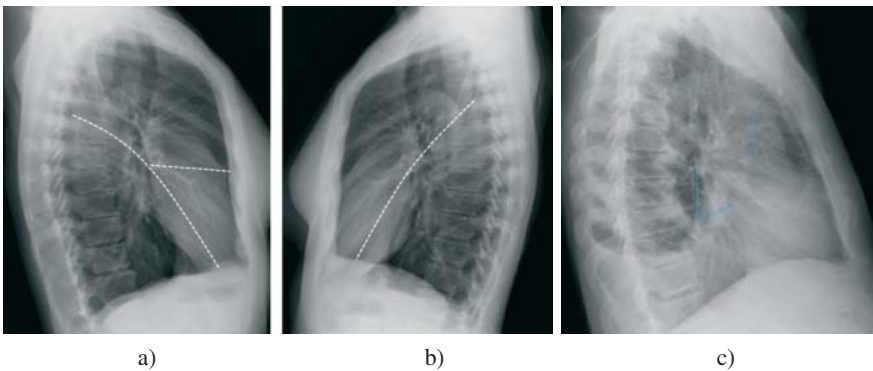
În cazul în care radiografic depistăm un proces patologic în câmpurile pulmonare, este obligatoriu să-l localizăm cât mai precis, ceea ce înseamnă după plămân, lob și segment. Pentru o astfel de localizare, avem nevoie de clișee în două incidențe: de față și de profil.

Plămânul drept include 3 lobi și cel stâng – 2 (figura 3.4).



**Figura 3.4.** Schema proiecției lobilor pulmonari și segmentelor pulmonare: a) radiografia de față, b) profil drept, c) profil stâng. Lobii superiori sunt colorați în roz, lobii inferiori – în albastru, lobul mediu (plămânul drept) – în galben. Cifrele marchează numerotația segmentelor. Segmentul 7 al plămânului drept (medial bazal), situat complet medial și mascat de către alte segmente, nu este indicat în schemă.

Lobii pulmonari sunt delimitați unul de altul prin scizuri formate de pleura viscerală. Scizura oblică delimitază lobul superior de cel inferior din stânga și lobul inferior de cel superior și mediu din dreapta. Din dreapta, lobul mediu este delimitat de cel superior prin scizura orizontală, care în mod normal uneori poate fi vizualizată pe clișeul de față. Scizurile oblice normale pot fi vizualizate doar pe radiografiile de profil. Dacă nu se pot vizualiza, punctele de reper pentru a aprecia poziția scizurilor și a delimita lobii sunt (figura 3.5):



**Figura 3.5.** Proiecția radiografică a scizurilor pulmonare: a, b – schema: a) plămânul drept, b) plămânul stâng; c) vizualizarea scizurilor pulmonare pe radiografia de profil, care uneori este posibilă (săgeți).

- Pentru plămânul drept (radiografia de profil drept):
  - ✓ scizura oblică: de la vertebra T4 prin hilul pulmonar drept spre punctul cel mai înalt al hemidiafragmului drept;
  - ✓ scizura orizontală: nivelul arcului anterior al coastei a IV-a sau, altfel, de la nivelul hilului pulmonar, în plan orizontal, spre anterior până la peretele toracic.
  - ✓ Pentru plămânul stâng (radiografia de profil stâng), scizura oblică: de la discul intervertebral T3-T4 prin hilul pulmonar stâng spre punctul cel mai înalt al hemidiafragmului stâng.

Vasele circuitului mic (arterele și venele) pot fi vizualizate pe radiografia standard a cutiei toracice sub forma benzilor opace care intersectează câmpurile pulmonare transparente, iau începutul de la hil și se îndreaptă spre periferie. Ele formează **desenul pulmonar** – o noțiune pur radiografică, dar foarte importantă în evaluarea patologiei cordului și plămânilor, care se analizează la radiografia standard a cutiei toracice. Vasele care formează desenul pulmonar în normă se divizează dihotomic și calibrul lor se micșorează treptat, armonios, din centru spre periferie; la distanța de circa 1,5 cm de la peretele toracic desenul pulmonar dispare din vedere ("segmentul capilar", unde calibrul vaselor devine atât de mic, încât nu poate fi perceput vizual). Intensitatea opacității liniare a unui vas este determinată de calibrul vasului, și nu de natura lui (artera sau vena). În mod normal, desenul pulmonar pe un clișeu standard (făcut în ortostatism) este mai pronunțat în regiunile bazale datorită gravitației.

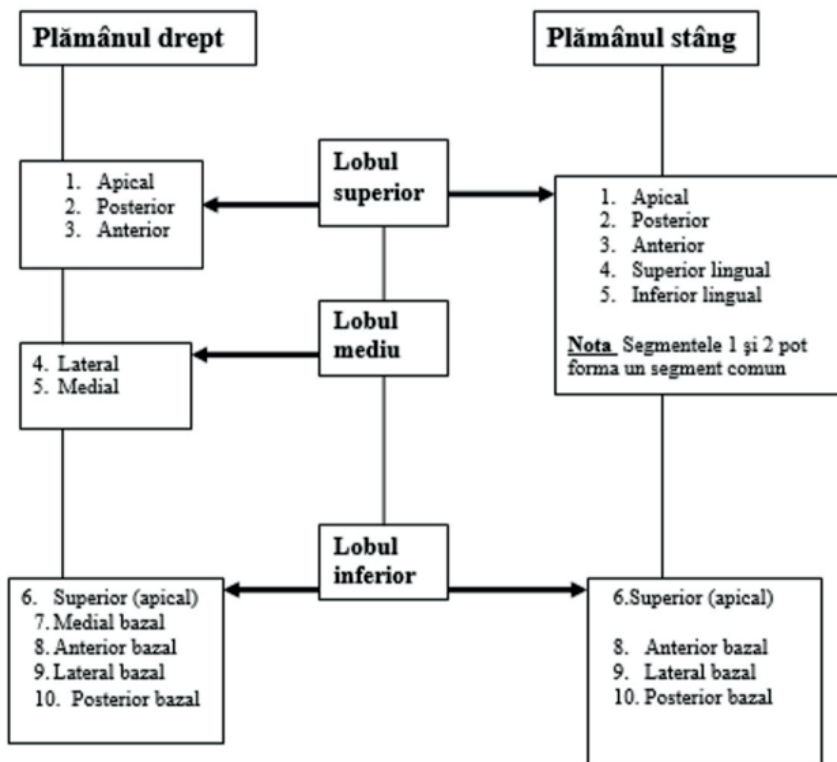
*Hilul pulmonar*, anatomic, este complexul elementelor anatomice care intră sau ies din plămân (inclusiv: bronhia, artera, vena, nodulii limfatici, vasele limfatice, nervii, țesutul adipos). Radiologic, hilul pulmonar este imaginea vaselor principale ale circuitului mic (artera, venele pulmonare drepte sau stângi principale și cele lobare), care sunt situate parțial în zona hilului anatomic, dar mai mult în partea adiacentă a plămânului. Sunt imagini opace, situate în normă între nivelul arcurilor anterioare ale coastelor a II-a și a IV-a, cel stâng este situat cu  $\approx 2$  cm mai sus decât cel drept și nu se vizualizează pe deplin. Trunchiul arterei pulmonare pe radiografia de față nu se vizualizează în totalitate, poate fi analizată numai partea lui distală, care formează unul din arcuri pe bordul stâng al umbrei cordului. Hilurile pulmonare normale sunt bine structurate, ceea ce înseamnă că radiografic pot fi bine decelate vasele care le formează: într-un hil pulmonar normal (mai evident, în cel drept) poate fi evidențiat capul (vasele dirijate spre lobul superior), corpul (vasele principale intermediare și cele ale lobului inferior)



și coada (partea proximală a ramificărilor terminale segmentare inferioare). Lățimea hilului pulmonar se măsoară de obicei la nivelul corpului hilului drept și în mod normal la adult este de 12-15 mm, dar nu depășește 2 cm.

Schema 3.2

Segmentele pulmonare



Dacă avem la dispoziție doar radiografia cutiei toracice de față, nu putem localiza procesul patologic după lob și segment. În acest caz, localizarea procesului patologic se face după câmpurile pulmonare. Câmpurile pulmonare reprezintă o despărțitură pe orizontală cu ajutorul a 2 linii orizontale imaginabile trasate la nivelul arcurilor anterioare ale coastelor a II-a și a IV-a, astfel vom evidenția câmpul pulmonar superior, mediu (între limitele arcurilor anterioare ale coastelor a II-a și a IV-a) și inferior. Unii autori evidențiază și câmpul pulmonar apical (de la umbra claviculei până la marginea superioară a apexului).

### 3.1.3. Alte metode imagistice în evaluarea aparatului respirator

*Tomografia plană* în evaluarea patologiei pulmonare este indicată pentru evaluarea proceselor patologice localizate, de origine tuberculoasă sau a formațiunilor de volum, cunoscute sau suspectate. Metoda este rapidă, mai puțin iradiantă, mai puțin costisitoare și mai ușor accesibilă decât tomografia computerizată. În prezența aparatajului, în ultimii ani în aceleași situații clinice este preferabilă efectuarea *tomosintezei*, care, fiind, de asemenea, mai puțin iradiantă decât tomografia computerizată, permite evaluarea precisă a cazurilor ce rămân neclare după efectuarea radiografiei convenționale.

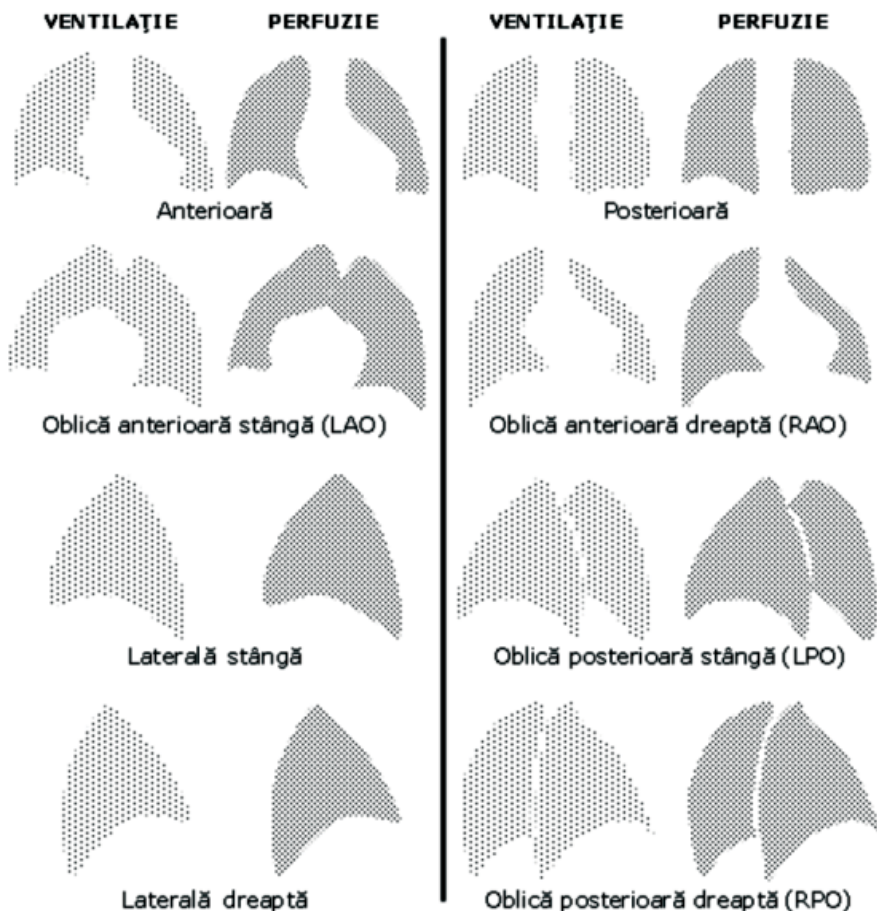
*Tomografia computerizată* se consideră metoda cea mai sensibilă pentru a diagnostica procesele patologice cu localizarea în parenchimul pulmonar sau în mediastin. Indicații de bază pentru CT în patologia aparatului respirator sunt:

- Evaluarea mai precisă în cazul opacităților rotunde și/sau nodulare depistate prin radiografia convențională.
- Procese tumorale în parenchimul pulmonar: diagnosticarea, stadializarea, depistarea metastazelor, ghidarea efectuării biopsiei.
- Tromboembolia arterei pulmonare.
- Căutarea focarelor de infecție la pacienții imunocompromiși.
- Patologii pulmonare difuze.
- Bronșectazii.
- Traumatism toracic.
- Pneumonii complicate.
- Precizarea diagnosticului în cazul în care radiografia convențională este dubioasă.

Standardul investigației actuale este tomografia computerizată spiralată prin sisteme multidetectoare. Investigația se face la inspir.

Metodele medicinei nucleare se pot utiliza pentru explorarea ventilației pulmonare și circulației sangvine pulmonare. *Scintigrafia pulmonară* este o metodă imagistică ce utilizează preparate radiofarmaceutice pentru evaluarea perfuziei și/sau ventilației pulmonare. Investigația standard include două etape (figura 3.6):

- a) *scintigrafia de ventilație*, în timpul căreia pacientului i se oferă să inhaleze un gaz sau un aerosol care conține radioizotopi pentru evaluarea funcției respiratorii și fluxului de aer în plămâni. Poate fi efectuată după inhalarea unui aerosol marcat cu Tc-99m



**Figura 3.6.** Reprezentare schematică a imaginilor scintigrafice normale de ventilație (cu  $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA) și perfuzie (cu  $^{99m}\text{Tc}$ -MAA) obținute din 8 proiecții standard pentru diagnosticul embolismului pulmonar acut. Datorită ajustării reflectorilor în timp a ventilației la perfuzie, defectele de perfuzie în patologiile pulmonare ce evoluează treptat vor fi asociate cu defecte similare de ventilație. În embolismul pulmonar acut, însă, defectele de perfuzie vor fi asociate cu ventilația normală a regiunii respective, ajustarea ventilației la perfuzia locală necesitând o perioadă mai îndelungată de timp.

( $^{99m}\text{Tc}$ -DTPA) sau a unui gaz radioactiv (precum Xenon-133). Metoda poate evidenția diferite grade de dereglare a permeabilității bronșice;

- b) *scintigrafia de perfuzie*, în timpul căreia preparatul radiofarmaceutic este administrat intravenos pentru evaluarea perfuziei pul-

monare. Se utilizează pentru evaluarea circulației sangvine pulmonare la nivelul capilarelor. Cel mai frecvent în acest scop sunt utilizate macroagregate de albumină umană marcate cu Tc-99m ( $^{99m}\text{Tc-MAA}$ ) sau microsferă de albumină umană marcate, de asemenea, cu Tc-99m ( $^{99m}\text{Tc-MSAU}$ ).

Evaluarea comparativă a perfuziei și ventilației pulmonare oferă informații relevante în diagnosticul și managementul diverselor patologii pulmonare, una dintre cele mai frecvente indicații ale scintigrafiei pulmonare fiind diagnosticul embolismului pulmonar acut, în special în cazurile când tomografia computerizată (CT) în regim angiografic este contraindicată sau rezultatele CT sunt incerte. Ghidul european de diagnostic și tratament al emboliei pulmonare acute (versiunea 2014) relevă că datorită dozei de iradiere reduse și lipsei substanței de contrast, imagistica de ventilație/perfuzie poate fi aplicată în mod preferențial la pacienții din ambulator cu probabilitate clinică redusă de tromboembolism și radiografie toracică normală, la tineri (în special la femei), în timpul sarcinii, la pacienți cu istoric de anafilaxie indusă de substanța de contrast și cu antecedente alergice semnificative, în insuficiența renală severă și la pacienți cu mielom și paraproteinemii.

În afara cazurilor de embolism pulmonar, scintigrafia pulmonară în patologia aparatului respirator este, de asemenea, indicată în diverse situații clinice precum:

- evaluarea preoperatorie a pacienților ce necesită rezecție pulmonară, pentru estimarea capacității reziduale postrezecție;
- evaluarea postoperatorie a pacienților cu transplant pulmonar;
- evaluarea perfuziei regionale, a zonelor de retenție a gazului radioactiv inhalat și a clearance-ului de eliminare din căile respiratorii în diverse patologii pulmonare (boli pulmonare obstructive cronice, astm bronșic, fibroze pulmonare);
- evaluarea pacienților cu hipertensiune pulmonară, atât pentru diferențierea etiologiei de tromboembolii cronice de alte cauze nonembolice, precum și pentru diagnosticul și cuantificarea șunturilor dreapta-stânga.

Investigația *imagistică prin rezonanța magnetică* nu permite evaluarea satisfăcătoare a parenchimului pulmonar, însă este foarte informativă în evaluarea mediastinului.

## 3.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ A APARATULUI RESPIRATOR

Sindroamele patologice de bază, pe care le putem depista pe clișeul radiografic al toracelui, includ:

- Opacitate
- Hipertransparență
- Modificări patologice ale desenului pulmonar
- Modificări patologice ale hilurilor pulmonare.

### 3.2.1. Opacitatea în câmpul pulmonar

Despre opacitate în câmpul pulmonar este vorba în cazul în care apare o zonă patologică cu densitate mai mare decât cea normală pentru regiunea dată. Primii radiologi, care au avut la dispoziție doar radioscoopia, o vedeau mai întunecată, din care cauză au și numit-o opacitate. Pe clișeul radiografic zona patologică cu densitate mai mare apare mai deschisă față de normă, dar păstrează denumirea de opacitate (la fel e și pentru hipertransparență).

Fiind depistată în urma analizei minuțioase a radiografiei după schema indicată mai sus, opacitatea trebuie să fie analizată și caracterizată conform schemei 3.3.

*Schema 3.3.*

#### **Analiza opacităților pulmonare**

1. **Localizare:** după regiuni și câmpurile pulmonare sau după unitățile anatomice (plămân, lob, segment).
2. **Cantitatea:** solitară, multiple.
3. **Forma:** corespunde structurilor anatomice (lob, segment); poligonală, rotundă, inelară, neregulată.
4. **Dimensiuni:**
  - Totală (ocupă un hemitorace);
  - Subtotală: ocupă majoritatea câmpului pulmonar: circa 2/3 ale hemitoracelui, cu certitudine mai mult de jumătate;
  - Limitată (mărginită): până la 1/3 din hemitorace;
  - Rotundă, inelară: se măsoară 2 diametre perpendiculare;
  - Nodulară: mai puțin de 2,5 cm.
5. **Contur:** Șters;  
Clar (net): regulat sau neregulat.

6. **Structura:** omogenă, neomogenă (eterogenă).

Despre structura omogenă a opacității se poate vorbi în cazul în care culoarea este relativ la fel de albă pe toată opacitatea; în cazul structurii neomogene pe acest fundal alb apar mici zone negre neregulate (cu densitate mai mică).

7. **Intensitatea:**

- Costală (la fel de albă ca umbra unei coaste);
- Subcostală;
- Supracostală.

8. **Structurile înconjurătoare:**

- Localizare neschimbată;
- Deplasate (atrase) spre opacitate;
- Deplasate (împinse) în direcție opusă.

Localizarea structurilor înconjurătoare mai frecvent se analizează în cazul opacităților de dimensiuni mari (totală, subtotală).

9. **Mobilitate (se descrie în caz de radioscopie):**

- Imobilă;
- Mobilă de sine stătător;
- Mobilă secundar mișcărilor.

În ultimii ani, radioscopia pulmonară se efectuează mai rar.

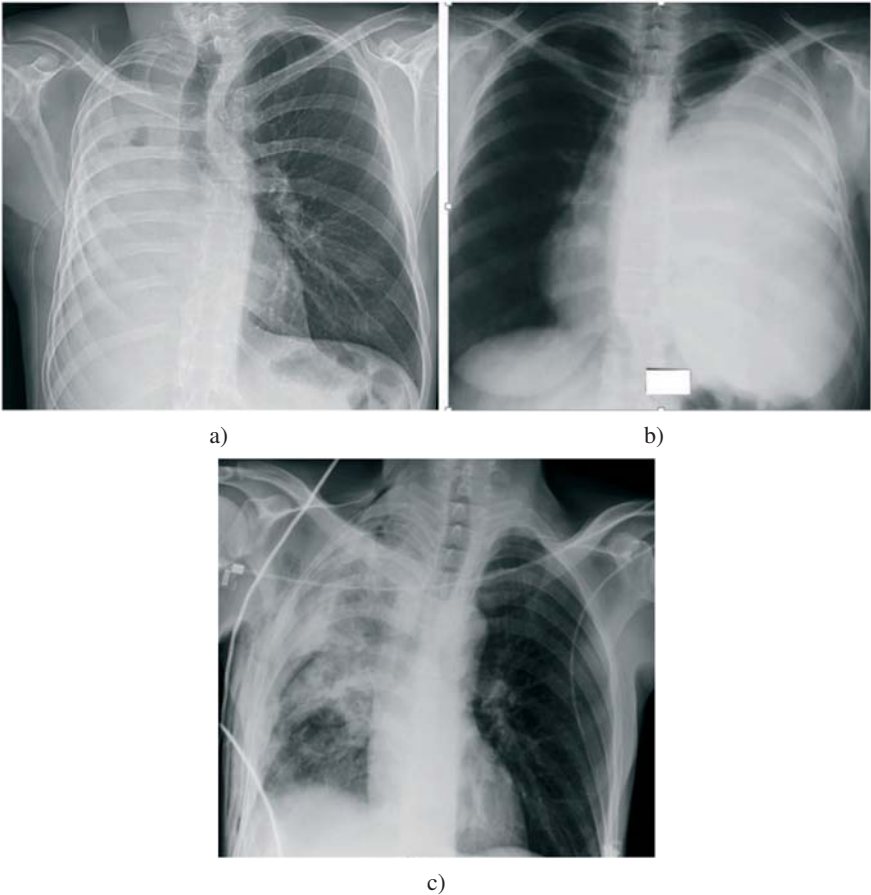
### 3.2.2. Opacitatea totală și subtotală

În acest caz radiografic depistăm o opacitate masivă care ocupă un hemitorace întreg (este vorba despre opacitate totală) sau cea mai mare parte a acestuia (opacitate subtotală) (figura 3.7).

Sindromul radiografic de opacitate masivă (totală sau subtotală) în câmpul pulmonar se poate întâlni în cadrul diferitor procese patologice care pot interesa atât plămânii, cât și cavitatea pleurală (pleurezie exudativă, hernie diafragmală cu localizarea anselor intestinale în cavitatea toracică, atelectazia plămânului, pneumonie franco-lobară etc.) (figura 3.7). Aceste diferite procese patologice, în marea lor majoritate, necesită aplicarea urgentă a tratamentului, la fel de diferit.

Primul pas diagnostic diferențial în cazul constatării prezenței opacității totale sau subtotale pe clișeu radiografic al toracelui este aprecierea poziției organelor mediastinale. Acestea pot fi:

- deplasate spre opacitate în cazul apariției spațiului liber din partea afectată: ciroză pulmonară, atelectazie pulmonară, hipoplazia sau aplazia plămânului, stare după pneumonectomie;



**Figura 3.7.** Radiografia cutiei toracice de față: a) opacitate totală din dreapta. Structurile mediastinale sunt deplasate spre opacitate, structura opacității este practic omogenă. Putem presupune atelectazia plămânului drept sau starea după pulmonectomie (prezența unei mici bule de aer și a tubului de drenaj este mai degrabă în favoarea acestei ultime situații, însă este necesar să cunoaștem datele din antecedentele pacientului); b) opacitate subtotală din stânga. Mediastinul este deplasat în partea opusă opacității. Structura opacității este omogenă. Se vizualizează bordul superior al opacității, care este clar, regulat și are direcție oblică. Putem presupune pleurezia exudativă cu acumularea cantității importante de exudat în cavitatea pleurală stângă; c) opacitate totală din dreapta. Mediastinul nu este deplasat. Structura opacității este neomogenă (eterogenă). Putem presupune în primul rând un proces inflamator.

- deplasate în partea opusă opacității în cazul apariției structurilor (substanțelor) adăugătoare din partea afectată, care vor împinge structurile mediastinale: exudat pleural, hernie diafragmală;

- nedeplasate (în procese inflamatorii în câmpul pulmonar).

Pentru a face o concluzie despre deplasarea organelor mediastinale, ne orientăm după următoarele repere anatomice:

- Poziția traheii (în mod normal este situată strict în mijloc; efectuarea clișeului în poziția strict față a pacientului este indispensabilă).
- Poziția umbrei cordului. Pentru a o aprecia, trebuie să ținem minte că dacă dimensiunile cordului sunt în limitele normale și poziția cordului nu este modificată, atunci:
  - ✓ Punctul cel mai stâng al umbrei cordului (format de ventriculul stâng) se află cu  $\approx 1-1,5$  cm medial de linia medioclaviculară stângă (cea radiografică, pe care o găsim dacă tragem o linie imaginară de la locul intersecției umbrei claviculei stângi cu peretele toracic (coastele) în jos până la diafragmă).
  - ✓ Punctul cel mai drept al umbrei cordului (format de atriumul drept) se află cu  $\approx 1,5$  cm spre dreapta de la bordul drept al umbrei coloanei vertebrale.

După aprecierea poziției organelor mediastinale, al doilea pas diagnostic diferențial este aprecierea structurii opacității:

- Structura omogenă indică absența aerului în regiunea opacifiată: pleurezie exudativă, atelectazie pulmonară, stare după pulmonectomie, agenezia (aplazia) plămânului.
- Structura neomogenă va fi depistată în cazul prezenței unor cantități de aer în regiunea afectată: procesele inflamatorii, ciroza pulmonară, hernia diafragmală cu pătrunderea anselor intestinale, ce conțin gaz, în cavitatea toracică.

### 3.2.3. Opacitate limitată în câmpul pulmonar

Despre opacitate limitată în câmpul pulmonar este vorba în cazul în care în câmpul pulmonar se depistează o opacitate cu dimensiuni  $\leq 1/3$  din dimensiunile câmpului pulmonar și a cărei formă nu este rotundă.

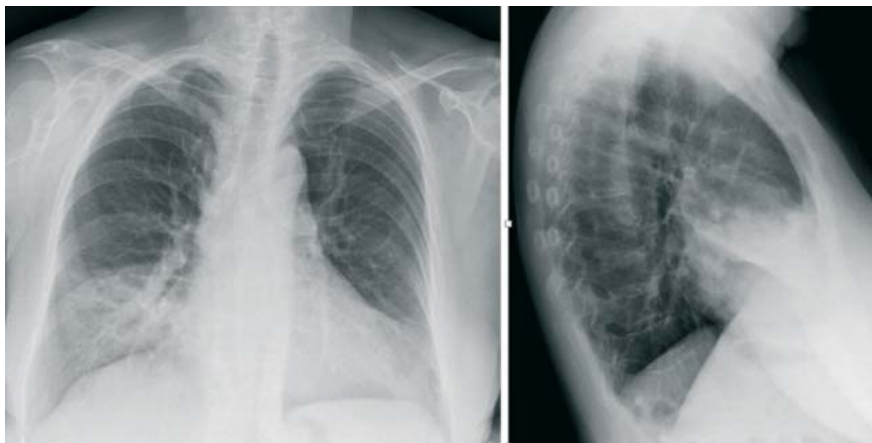
Opacitatea limitată se poate întâlni în diferite procese patologice, cele mai frecvente fiind: pleureziile, procesele inflamatorii intrapulmonare, ciroza pulmonară, atelectazia de lob sau segment, formațiunile de volum.

Pentru diagnosticul diferențial se efectuează analizarea opacității conform schemei 3.3. Dacă forma opacității corespunde structurilor anatomice (lob, segment) și dimensiunile acestei structuri anatomice nu sunt modificate, putem presupune un proces inflamator. Structura acestei opacități, de



regulă, este neomogenă. Dacă dimensiunile structurii anatomice opacificate sunt micșorate față de cele normale, în caz de structură omogenă a opacității, putem presupune atelectazia (parenchimul pulmonar în segmentul atelectaziat nu conține aer), iar în caz de structură neomogenă, diagnosticul cel mai probabil este ciroza pulmonară, în care alături de zonele ocupate de țesut conjunctiv sunt și zone păstrate de parenchimul pulmonar aerat (figura 3.8).

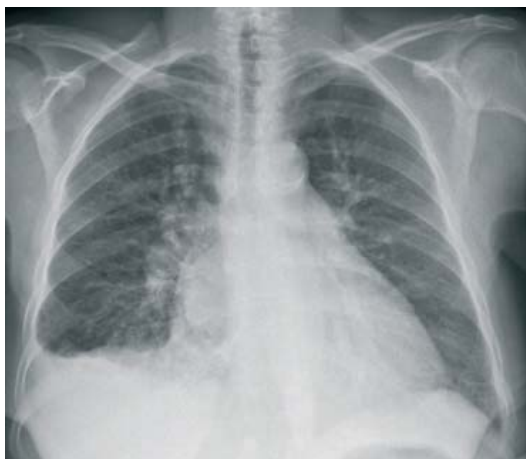
Dacă forma opacității limitate nu corespunde elementelor structurale ale parenchimului pulmonar, putem presupune acumularea de lichid: pleurezie exudativă (hidrotorax) (figura 3.9), dacă opacitatea este situată în unghiul costo-diafragmatic, cu marginea superioară oblică; acumulare de lichid în scizura interlobară, dacă opacitatea are forma de lentilă și este situată în proiecția scizurii interlobare; pleurezie parietală închistată, dacă opacitatea este situată parietal. În toate cazurile de acumulare de lichid, structura opacității este omogenă. Dacă lichidul acumulat în cavitatea pleurală nu este încapsulat, schimbarea poziției pacientului duce la schimbarea formei și poziției opacității. Pe acest fapt se bazează laterografia – efectuarea radiografiei cutiei toracice în poziția pacientului culcat pe partea afectată cu scopul evidențierii cantităților mici de lichid în cavitatea pleurală, dificil de evidențiat pe radiografia standard.



a)

b)

**Figura 3.8.** Radiografia cutiei toracice de față (a) și de profil drept (b). Pe radiografia de față depistăm opacitatea limitată, care ocupă câmpul pulmonar inferior al plămânului drept. Structura opacității este neomogenă, intensitatea subcostală, dimensiunile regiunii anatomice opacificate nu sunt micșorate. Putem presupune un proces inflamator din dreapta; cu ajutorul radiografiei de profil putem concluda că acest proces inflamator este localizat în lobul mediu al plămânului drept.

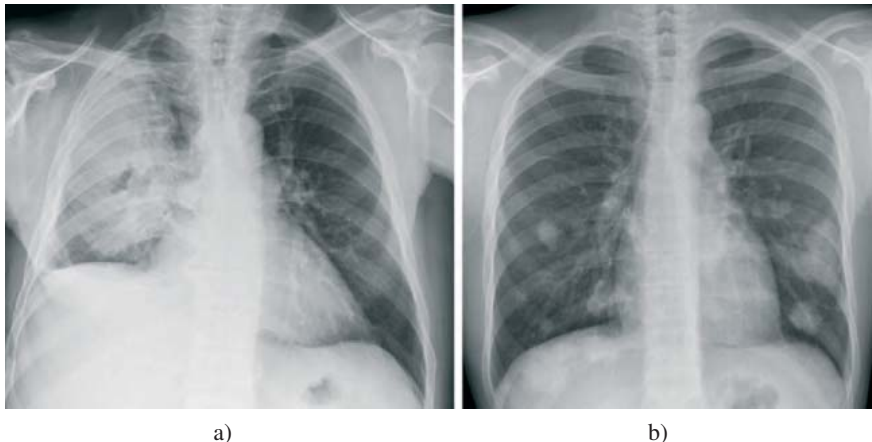


**Figura 3.9.** Radiografia cutiei toracice de față. Se vizualizează opacitate limitată în câmpul pulmonar inferior al plămânului drept, a cărei formă nu corespunde structurilor anatomice. Structura opacității este omogenă, intensitatea supracostală, marginea superioară este oblică. Putem presupune acumularea de lichid în cavitatea pleurală dreaptă.

#### **2.2.4. Opacitate rotundă în câmpul pulmonar**

După cum reiese din denumire, în acest caz în câmpul pulmonar se depistează opacitate de formă rotundă sau ovală cu dimensiunile  $\geq 2,5$  cm (pentru aprecierea dimensiunilor se măsoară două diametre perpendiculare ale opacității: supero-inferior și medio-lateral). Opacitatea își păstrează forma în toate proiecțiile. Opacitatea rotundă poate fi cauzată de procese patologice atât intrapulmonare, cât și extrapulmonare, pot fi depistate opacități solitare sau multiple. Apariția unei opacități rotunde în câmpul pulmonar poate fi cauzată de multiple procese patologice, cele mai frecvente dintre care sunt formațiuni de volum (tumori, chisturi), procese inflamatorii (tuberculom, pneumonie, infiltrat eozinofilic). În toate aceste cazuri opacitatea rotundă este situată intrapulmonar (figura 3.10). Forma ovală este mai mult caracteristică pentru chisturi; forma strict rotundă este mai mult caracteristică pentru un proces tumoral, în special pentru metastaze în plămâni. Conturul șters al opacității caracterizează un proces inflamator nespecific; în cazul tuberculomului, conturul opacității este clar. În cazul chistului conturul opacității este, de asemenea, clar și regulat, iar în cazul unui chist multicameral conturul va avea un aspect policiclic.

Sindromul de opacitate rotundă în câmpul pulmonar poate fi cauzat și de procese extrapulmonare: pleurezie încapsulată, formațiuni de volum în mediastin, hernie diafragmală. Diagnosticul radiografic diferențial în cazul opacităților rotunde devine mai ușor dacă avem radiografiile precedente ale pacientului și putem estima dinamica creșterii procesului patologic.



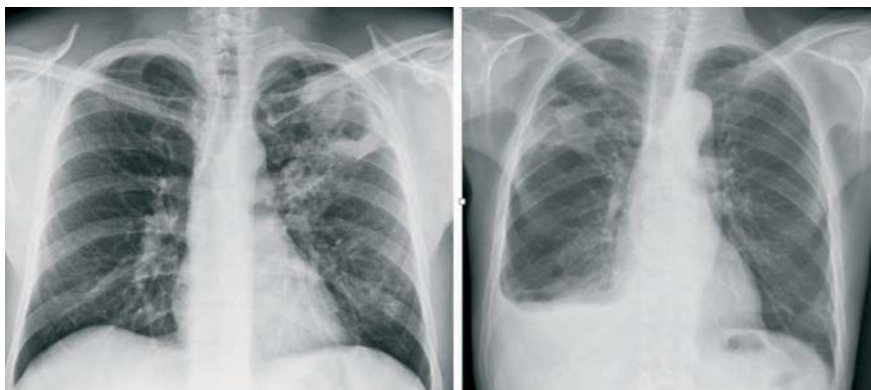
**Figura 3.10.** Radiografia standard a cutiei toracice: a) opacitate rotundă solitară în câmpul pulmonar drept cu localizare intrapulmonară, de dimensiuni mari, structura neomogenă, ceea ce ne face să presupunem un proces tumoral pulmonar cu destrucție; b) opacități rotunde și nodulare (vezi mai departe), omogene, localizate în câmpurile pulmonare medii și inferioare bilateral, caracteristice pentru metastaze în plămâni.

### 3.2.5. Opacitate inelară în câmpul pulmonar

În caz de opacitate inelară în câmpul pulmonar, radiografic vom depista o opacitate cu forma rotundă sau ovală, a cărei structură internă include o zonă transparentă, din care cauză imaginea în ansamblu amintește un inel. Opacitatea inelară poate fi întâlnită și în cazul proceselor intratoracice extrapulmonare (pneumotorax mărginit, unele anomalii costale).

Opacitatea inelară cu localizare intrapulmonară semnalizează o cavitate în parenchimul pulmonar și în funcție de conținutul cavității are un aspect de inel "fără piatră" în caz de conținut strict aeric sau de inel "cu piatră", în cazul în care conținutul intern este prezentat în același timp de aer și lichid sau masele dense. Conținutul aeric este caracteristic pentru: caverna tuberculoasă (în cazul procesului tuberculos, de regulă, opacitatea inelară nu este unica manifestare a procesului patologic, depistăm și alte

modificări radiologice pulmonare (figura 3.11, a). În cazul în care caverna este asanată, ea are pereții mai subțiri); chisturile aeriene, polichistoza pulmonară, unele cazuri de bronșectazii.



a)

b)

**Figura 3.11.** Radiografia standard a cutiei toracice: a) opacitate inelară în câmpul pulmonar superior al plămânului stâng cu conținut aeric, peretele cu aspect mai subțire superior și mai gros inferior, cu contur intern clar, regulat, caracteristic pentru caverna tuberculoasă; b) opacitate inelară în câmpul pulmonar superior al plămânului drept cu nivelul hidro-aeric, peretele cu contur intern clar, regulat. În această cavitate predomină conținutul lichidian. În câmpul pulmonar inferior din dreapta, de asemenea, se depistează o opacitate, care poate fi caracterizată ca fiind limitată, omogenă, cu contur superior clar, regulat, oblic.

În alte cazuri, în cavitatea chistului poate fi depistată o delimitare strict orizontală între zona transparentă și cea opacă (figura 3.11, b). Această delimitare orizontală se numește **nivelul hidro-aeric** și, fiind depistată radiografic, semnalizează prezența simultană de aer și lichid în regiunea afectată. Nivelul hidro-aeric în cavitate este caracteristic pentru abces pulmonar. Se atrage atenție la pereții cavității și în special la conturul intern al acestora. În cazul abcesului pulmonar conturul intern al peretelui este mai regulat. Cancerul pulmonar în destrucție, de asemenea, poate să se manifeste radiografic printr-o opacitate inelară cu conținut mixt, dar cantitatea conținutului lichidian este mai mică decât în cazul abcesului, iar pereții mai frecvent sunt îngroșați neuniform, cu conturul intern ondulat.

Așadar, cu scopul diagnosticului diferențial, în cazul unei opacități inelare se analizează:

- ✓ **Pereții:** grosimea lor și conturul intern. Pentru chisturile pulmonare sunt caracteristici pereții subțiri, cu o grosime egală pe tot parcursul; în cazul abcesului pulmonar, cavernei tuberculoase

sau cancerului în destrucție, grosimea pereților este neuniformă; conturul intern neregulat este cel mai caracteristic pentru un proces tumoral în destrucție, dar poate fi întâlnit și în procese inflamatorii.

- ✓ Conținutul cavității: aeric sau prezența și a aerului, și a lichidului; prezența nivelului hidro-aeric; cantitatea de lichid intracavitar.

### 3.2.6. Opacitate nodulară în câmpul pulmonar

Opacitățile în câmpul pulmonar cu dimensiunile  $< 2,5$  cm se numesc opacități nodulare sau noduli pulmonari; forma lor este de obicei rotundă sau ovală. Pot fi solitare, multiple sau difuz diseminate (foarte multe) și pot exprima mai multe procese patologice, cel mai frecvent – cele inflamatorii sau formațiuni de volum. Opacitatea nodulară solitară poate fi semnul unui proces tumoral pulmonar malign, care încă nu are manifestări clinice; depistarea acesteia este extrem de importantă și în același timp este dificilă și poate fi ușor trecută cu vederea. Pentru a o evidenția, analiza radiografiei trebuie să fie efectuată minuțios, cu examinarea comparativă consecutivă a tuturor spațiilor intercostale în toate cazurile fără excepție; depistarea unui proces patologic intrapulmonar nu exclude existența altuia (figura 3.12).



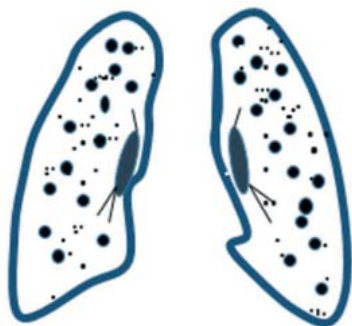
**Figura 3.12.** Radiografia standard a cutiei toracice. Opacitate nodulară solitară în câmpul pulmonar inferior din stânga.

Despre opacități nodulare diseminate vorbim în cazul depistării multiplelor opacități nodulare bilateral. Aceste opacități sunt, de asemenea,

clasificate după dimensiunile lor: opacitățile cu dimensiuni de 1-3 mm se consideră miliare; 3-4 mm – mici; 5-8 mm – medii, > 9 mm – mari. Opacitățile diseminate se pot întâlni în tuberculoza miliară (figura 3.13), pneumoconioze; opacitățile nodulare mici în cazul unor afecțiuni ale țesutului conjunctiv sau edemului pulmonar, de asemenea, pot avea un caracter diseminat. Diagnosticul diferențial radiografic poate fi dificil; este necesar de cunoscut datele clinice și antecedentele; opacitățile nodulare cauzate de un proces inflamator se caracterizează prin contur șters, care, însă, poate fi greu de stabilit în cazul dimensiunilor mici.

Analizând opacitățile nodulare multiple, atragem atenție la:

- ✓ localizarea lor predominantă (localizarea predominant apicală este caracteristică pentru un proces tuberculos; predominarea opacităților nodulare în câmpurile pulmonare medii și inferioare se poate întâlni în unele forme de pneumonii sau edem pulmonar);
- ✓ dimensiuni;
- ✓ răspândirea (dacă zona răspândirii include apexul și până la 2 spații intercostale adiacente, este vorba despre diseminare limitată, dacă o zonă mai mare – răspândită, dacă include ambii plămâni – difuză);
- ✓ contur (clar sau șters);
- ✓ starea plămânului în regiunile adiacente;
- ✓ starea hilurilor pulmonare.



a)



b)

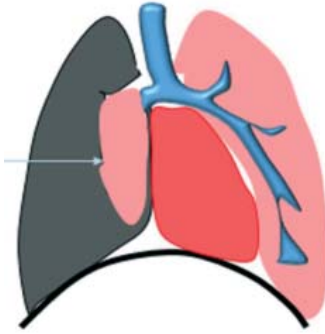
**Figura 3.13.** Tuberculoza pulmonară miliară: a) schema; b) radiografia cutiei toracice.

### 3.2.7. Hipertransparența în câmpul pulmonar

Radiografic, regiunea parenchimului pulmonar apare transparentă și are culoare neagră pe clișeu. Despre hipertransparența în câmpul pulmonar este vorba în cazul în care regiunea parenchimului pulmonar apare ”mai neagră decât se admite”. Morfologic, acest semn este condiționat de micșorarea elementelor parenchimului pulmonar într-o unitate de volum. Aceasta se poate întâmpla în următoarele situații:

- ✓ Mărirea cantității de aer în parenchimul pulmonar (în emfizemul pulmonar);
- ✓ Apariția aerului în cavitatea pleurală (pneumotorax);
- ✓ Micșorarea elementelor desenului pulmonar într-o unitate de volum (hipovolemie arterială pulmonară, în acest caz parenchimul pulmonar propriu-zis nu este modificat, dar vizual apare mai negru pe fundalul diminuării cantității structurilor opace). Hipovolemia arterială pulmonară poate fi totală – în cadrul malformațiilor cardiace congenitale asociate cu stenoza severă de arteră pulmonară și atunci este asociată și de alte semne radiologice (vezi capitolul consacrat imagisticii sistemului cardiovascular); poate fi și locală în cazul tromboemboliei uneia din ramurile arterei pulmonare, atunci este asociată cu dilatarea vaselor pulmonare proximal de la locul emboliei (simptomul Westermark).

Hipertransparența în câmpul pulmonar poate fi intrapulmonară și extrapulmonară; unilaterală și bilaterală; totală și limitată. Toate cazurile necesită diagnostic diferențial; pe primul plan este diagnosticul diferențial între hipertransparența intra- și extrapulmonară: aceasta din urmă înseamnă prezența aerului liber în cavitatea pleurală (pneumotorax), ceea ce poate prezenta o urgență respiratorie. Pentru a decide dacă nu cumva aerul excesiv se află în parenchimul pulmonar sau în afara acestuia, se verifică prezența desenului pulmonar în zona hipertransparentă (figurile 3.14, 3.15). Absența desenului pulmonar pe fundalul hipertransparenței este semnul pneumotoraxului. În caz de pneumotorax limitat cu localizarea aerului de-a lungul peretelui toracic depistarea absenței desenului pulmonar poate fi dificilă, însă analiza minuțioasă comparativă consecutivă a parenchimului pulmonar permite evidențierea pleurei viscerale a plămânului din partea afectată, sub forma unei opacități liniare foarte fine, ceea ce nu poate fi vizualizat în limitele normale. Despre pneumotorax total se vorbește în cazul în care plămânul este colabat complet. Plămânul colabat se deplasează medial și inferior.



a)



b)

**Figura 3.14.** Radiografia standard a cutiei toracice. Pneumotorax total pe dreapta: a) schema (plămânul colabat indicat cu săgeată); b) imaginea radiografică.

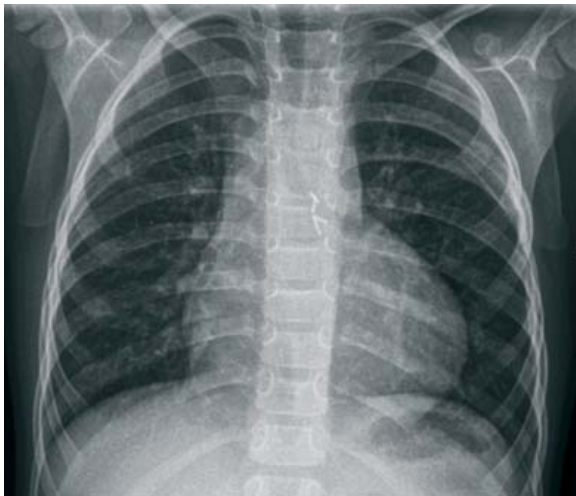


**Figura 3.15.** Hidropneumotorax pe dreapta. Zona hipertransparentă cu absența desenului pulmonar în regiunea câmpului pulmonar superior și mediu din dreapta. Opacitate limitată în câmpul pulmonar inferior. Limita orizontală între opacitate și zona hipertransparentă (nivelul hidro-aeric) indică prezența simultană a lichidului și aerului în cavitatea pleurală. Detectând traumatismul osos (fractura de coaste), putem presupune că conținutul lichidian în cavitatea pleurală este cel hemoragic.



În pneumotoraxul parțial plămânul nu este colabat pe deplin, iar aerul îl învăluie din toate părțile.

În emfizemul pulmonar volumul de aer în parenchimul pulmonar este mărit: bilateral, de exemplu, în astm bronșic, sau local, într-un lob sau segment, în cazul obturației bronșice prin supapă (vezi mai jos). Desenul pulmonar pe fundalul zonei hipertransparente este prezent. Diagnosticul radiografic de emfizem pulmonar total, în special diagnosticul diferențial cu hipovolemie arterială pulmonară, se bazează pe semne obiective: indirecte (cutia toracică în formă de butoi, dilatarea spațiilor intercostale, aplatarea diafragmului) și directe: poziția hemidiafragmului drept la inspir profund (figura 3.16).



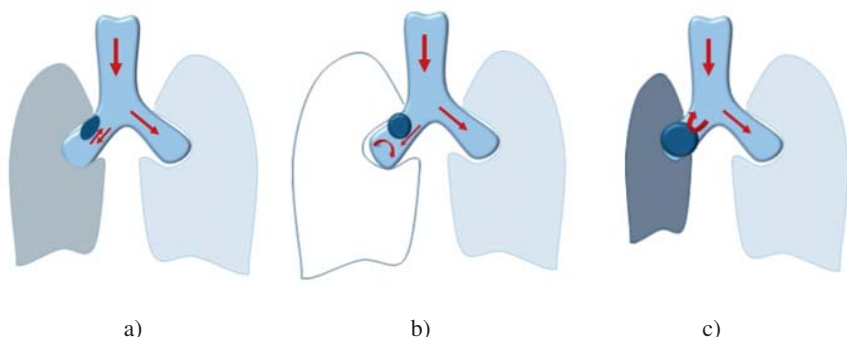
**Figura 3.16.** Radiografia standard a cutiei toracice în tetralogia Fallot. Hipertransparența pulmonară bilaterală. Hemidiafragmul drept se află la nivelul coastei a V-a. Hilul pulmonar drept îngustat, desenul pulmonar redus. Apexul cordului ridicat ("coeur en sabot" (fr.) – inima în forma unui papuc de lemn, caracteristică pentru tetralogia Fallot).

### 3.2.8. Dereglări de permeabilitate bronșică

Se evidențiază 3 grade (care uneori reprezintă 3 stadii consecutive) de dereglare a permeabilității bronșice (figura 3.17).

În obstrucție parțială (bronhostenoză), din cauza îngustării lumenului bronhiei, cantitatea de aer, care pătrunde la inspir într-o unitate structurală a pulmonului, ventilată de bronhia afectată, și cea expirată, este micșorată față de volumul normal. Radiologic, segmentul afectat va apărea hipoven-

tilat (o diminuare ușoară a transparenței, care poate fi pusă în evidență numai printr-o analiză comparativă minuțioasă a câmpurilor pulmonare.). Pot fi depistate și semnele secundare, ca îngustarea spațiilor intercostale sau micșorarea ușoară a volumului segmentului afectat în comparație cu cel normal contralateral.



**Figura 3.17.** Gradele dereglării permeabilității bronșice: a) obstrucție parțială; b) obstrucție prin supapă; c) obstrucție totală.

În obstrucție prin supapă, la inspirație, care este un proces activ, aerul pătrunde în segmentul afectat într-o cantitate mai mare decât cea posibilă de expirat; prin urmare, segmentul afectat devine ”supraumplut” cu aer – se dezvoltă emfizemul acestui segment, care radiografic se va prezenta ca hipertransparență.

În obstrucția totală, aerul nu poate pătrunde în segmentul pulmonar afectat, cel rezidual se supune resorbției și, respectiv, radiografic în zona afectată va fi depistată o opacitate.

În cazul în care obstrucția bronșică este cauzată de o compresie extrinsecă (dezvoltarea unui proces de volum), analizând retrospectiv radiogramele unuia și aceluiași pacient, nediagnosticat la timp, putem depista consecutiv semne radiologice ale tuturor stadiilor.

### 3.2.9. Modificări ale desenului pulmonar

Cauzele principale ale modificărilor desenului pulmonar pot fi:

- ✓ mărirea sau micșorarea cantității de sânge în vasele circuitului mic, cauzată de maladiile cordului;
- ✓ edemul septurilor interlobulare și al spațiilor peribronhiale, cauzat de procesele inflamatorii (pneumonie, bronșită, alveolită etc.),

ceea ce duce la creșterea componentei interstițiale a desenului pulmonar;

- ✓ dezvoltarea țesutului conjunctiv în interstițiul plămânului (pneumoscleroză).

Modificările desenului pulmonar în afecțiunile aparatului respirator pot să se manifeste prin:

- *Accentuarea desenului pulmonar*: mărirea numărului și alungirea ramificărilor arterelor pulmonare într-o unitate de volum, care poate să fie depistată în:
  - ✓ patologiile inflamatorii. În aceste cazuri contururile vaselor pulmonare sunt de obicei neclare; accentuarea desenului pulmonar va fi neuniformă, în funcție de regiunea afectată (spre deosebire de neclaritatea contururilor vasculare bilaterale în cadrul congestiei venoase pulmonare);
  - ✓ pneumoscleroză (pneumofibroză), în care vasele sunt îngroșate neuniform, contururile vaselor sunt destul de clare, dar neregulate, traiectul ramurilor deformat.
- *Reducerea desenului pulmonar în afecțiunile pulmonare* se poate întâlni în cazul tromboemboliei ramurilor arterei pulmonare și atunci este localizată, spre deosebire de reducerea bilaterală simetrică în hipovolemia arterială pulmonară în cadrul malformațiilor cardiace congenitale.
- *Hipertensiunea arterială pulmonară* poate fi idiopatică sau se poate întâlni în cadrul afecțiunilor bronho-pulmonare cronice sau în cadrul malformațiilor cardiace congenitale, care decurg inițial cu mărirea volumului circuitului mic. Modificările desenului pulmonar combină dilatarea hilurilor pulmonare și reducerea dimensiunilor ramurilor arteriale pulmonare spre periferie de la hil, neproportională cu dilatarea.
- *Deformarea desenului pulmonar* reprezintă modificarea traiectului și formei normale a elementelor desenului pulmonar, care în acest caz formează o rețea de ramificare aleatorie (figura 3.18). Deformarea desenului pulmonar, adesea în combinație cu accentuarea acestuia, poate fi observată în patologiile respiratorii cronice: bronșită cronică, tuberculoză pulmonară, pneumoconioză, alveolită fibroasă, pneumoscleroză de etiologie diversă.

Modificările desenului pulmonar în cadrul afecțiunilor cardiovasculare sunt descrise în subcapitolul consacrat diagnosticului imagistic al patologiei cardiovasculare.



**Figura 3.18.** Radiografia standard a cutiei toracice. Deformarea desenului pulmonar.

### 3.2.10. Modificările hilului pulmonar

Modificările radiologice ale hilului pulmonar (figura 3.19) sunt, de regulă, secundare și cel mai frecvent pot fi cauzate de afecțiunile pulmonare, afecțiunile cardiovasculare, afectarea ganglionilor limfatici perihilari. Ele pot fi bilaterale sau unilaterale.

Radiografic pot fi depistate:

- Modificările dimensiunii hilului pulmonar – dilatare sau îngustare. Dacă sunt bilaterale, sunt caracteristice pentru patologia cardiovasculară.
- Modificările conturului:
  - ✓ Conturul poate fi neclar, șters – în caz de edem perivascular, care, la rândul lui, poate fi cauzat de congestia venoasă sau procesele inflamatorii; sau în caz de infiltrație a hilului;
  - ✓ În caz de deformare a hilului, conturul lui este clar, dar neregulat; de regulă, sunt asociate modificările fibroase în parenchimul pulmonar.
  - ✓ Conturul policiclic este caracteristic în primul rând pentru procesele tumorale, primare sau metastaze (mai frecvent, aceste modificări sunt unilaterale), mărirea ganglionilor limfatici perihilari (în tuberculoză (cu timpul pot apărea calci-

ficări în ganglionii limfatici afectați), limfogranulomatoză, procese purulente, limfoleucoză, mononucleoză infecțioasă, adenopatii virale, sarcoidoză etc.).



**Figura 3.19.** Radiografia cutiei toracice de față. Modificările hilului pulmonar.

Diagnosticul diferențial în caz de mărire unilaterală a hilului pulmonar, depistată radiografic, poate fi dificil și necesită investigații suplimentare, în primul rând, tomografia computerizată.

## IV. INVESTIGAȚIA RADIOIMAGISTICĂ A SISTEMULUI CARDIOVASCULAR

### 4.1. METODE RADIOLOGICE ÎN EXPLORAREA CORDULUI

#### 4.1.1. Radiografia standard a cutiei toracice

Radiografiile cordului în proiecții oblice, fiind necesare altădată pentru evaluarea compartimentelor cordului, care nu formează arcuri pe marginile umbrei cordului în proiecția de față, și-au pierdut actualitatea după dezvoltarea ecocardiografiei, care permite evaluarea mai calitativă și mai informativă a acestora. Din aceeași cauză au rămas în trecut și nu se mai utilizează în practica medicală metodele înregistrării grafice a contracțiilor cordului (radiochimografie, electroradiochimografie), diferite semne funcționale care erau evaluate cu ajutorul radioscopiei (însăși radioscopia cordului nu se mai practică), multipli indici care se calculau efectuând diverse măsurători pe clișee radiografice.

Totuși, radiografia standard a cutiei toracice (incidența de față) rămâne a fi actuală și necesară în evaluarea unui pacient cardiovascular.

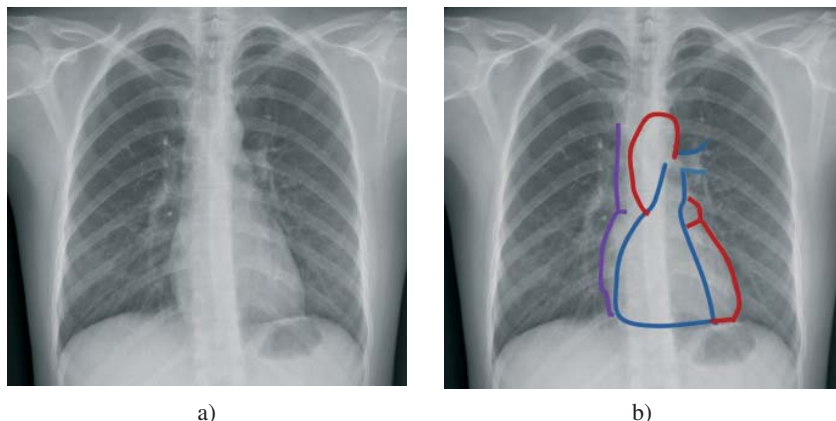
Amintim că radiografia se efectuează la inspir, în poziția verticală a pacientului, partea anterioară a cutiei toracice alipită de ecran, distanța de la tubul radiologic la film este egală cu minimum 1,5 m (teleradiografie), pentru a obține o imagine a cordului cu dimensiunile cât mai apropiate de cele reale.

Aspectele principale care ne interesează sunt:

- Dimensiunile și forma cordului.
- Poziția cordului.
- Starea desenului pulmonar.
- Mediastinul.

La persoanele sănătoase, în caz de situs viscerus solitus (marea majoritate a cazurilor), depistăm umbra cordului în mijlocul cavității toracice, 1/3 fiind situată în partea dreaptă și 2/3 – în partea stângă de la linia mediană. Forma umbrei cordului de obicei este asemănătoare cu un oval, situat oblic. Densitatea radiologică a structurilor cardiace și a sângelui ce se află în cavitățile cordului este una și aceeași și se referă la treapta a III-a a nivelurilor de contrastare naturală (densitatea lichidiană), din care cauză în majoritatea cazurilor pe clișeul radiografic putem vizualiza doar umbra

globală a cordului, fără a distinge unul de altul pereții, cavitățile, vasele mari și conținutul lor (figura 4.1.).



**Figura 4.1.** Radiografia standard a cutiei toracice: a) umbra cordului este omogenă, nu putem distinge limitele compartimentelor cordului; b) aceeași radiografie cu indicarea conturilor compartimentelor cordului.

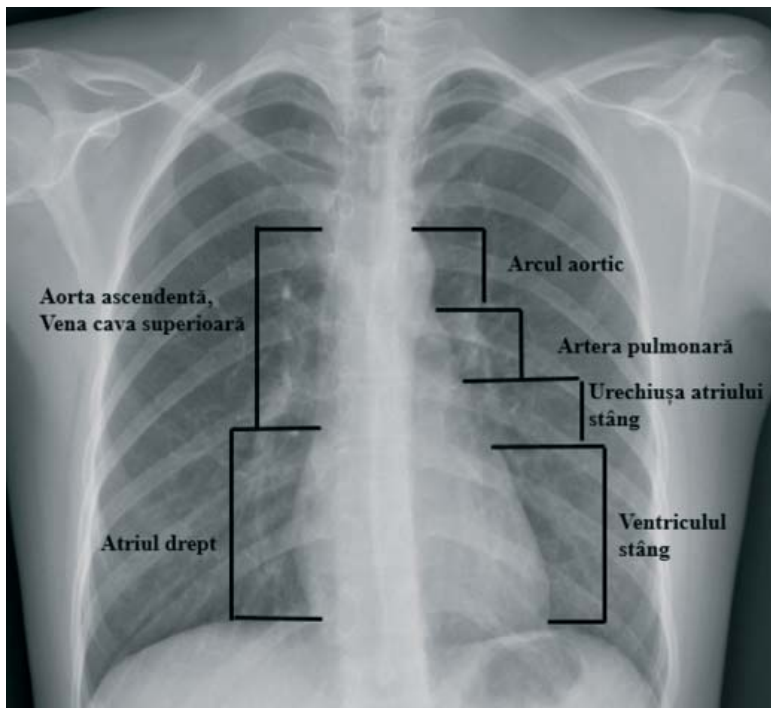
Dacă dimensiunile cordului sunt în limitele normale și poziția cordului nu este modificată, atunci:

- Punctul cel mai stâng al umbrei cordului (format de ventriculul stâng) se află cu  $\approx 1-1,5$  cm medial de linia medioclaviculară stângă (cea radiografică, pe care o găsim dacă tragem o linie de la locul intersecției umbrei claviculei stângi cu peretele toracic (coastele) în jos până la diafragmă).
- Punctul cel mai drept al umbrei cordului (format în mod normal de atriul drept) se află cu  $\approx 1,5$  cm spre dreapta de la bordul drept al umbrei coloanei vertebrale.
- Punctul cel mai superior al umbrei cordului (format de crosa aortică) se află la nivelul vertebrei toracice a III-a.

Imaginea cordului la radiografia standard a cutiei toracice în mod normal reprezintă o umbră practic omogenă. Marginile ei sunt clare, bine delimitate și cuprind câteva arcuri (convexități), formate de anumite compartimente ale cordului, care ies pe contur, și anume (figura 4.2.):

- Din dreapta – două convexități:
  - ✓ Cea superioară formată de structurile vasculare (aorta ascendentă, vena cavă superioară);
  - ✓ Cea inferioară – atriul drept.

- Din stânga – patru convexități, din superior spre inferior:
  - ✓ Butonul aortei;
  - ✓ Trunchiul arterei pulmonare;
  - ✓ Urechiușă atrială stângă;
  - ✓ Ventriculul stâng.



**Figura 4.2.** Convexitățile cordului. Radiografia standard a cutiei toracice.

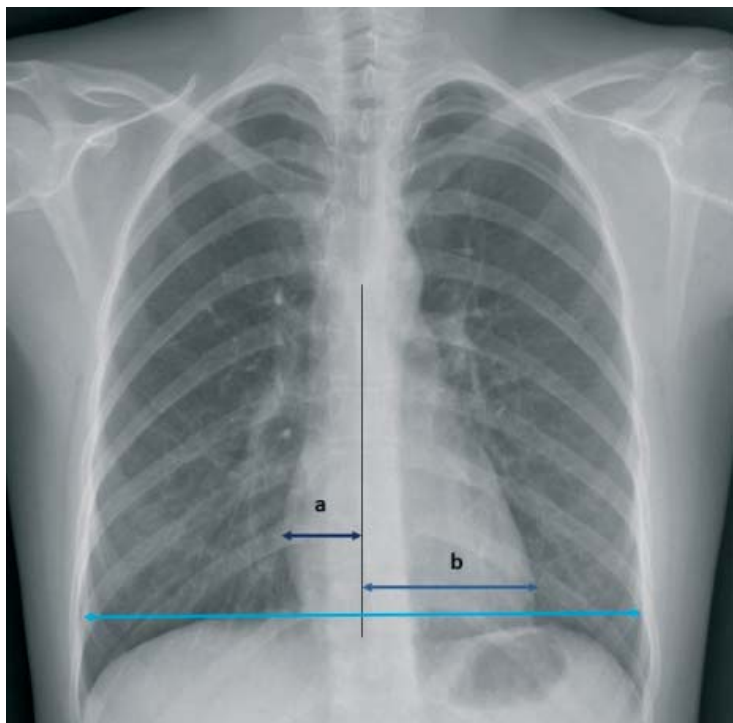
Arcul superior din dreapta în mod normal este format de vena cavă superioară, dar în cazul în care apar modificări patologice ale acestui arc (proeminență), acestea sunt cauzate de modificările patologice ale aortei ascendente, ceea ce a și determinat includerea a două structuri anatomice în caracteristica arcului.

Urechiușă atrială stângă reprezintă convexitatea cea mai scurtă și este clar apreciabilă doar la 30% dintre persoanele sănătoase, din care cauză unii autori o neglijează. Ei descriu doar 3 arcuri pe bordul stâng al cordului.

Dimensiunile cordului pot fi și trebuie să fie apreciate obiectiv, calculând indicii cardiotoracic (ICT). Acesta reprezintă raportul diametrelor



transversale maxime: celui ale umbrei cardiace și diametrului intern al toracelui, măsurate pe un clișeu radiografic de față (în plan frontal) (figura 4.3).



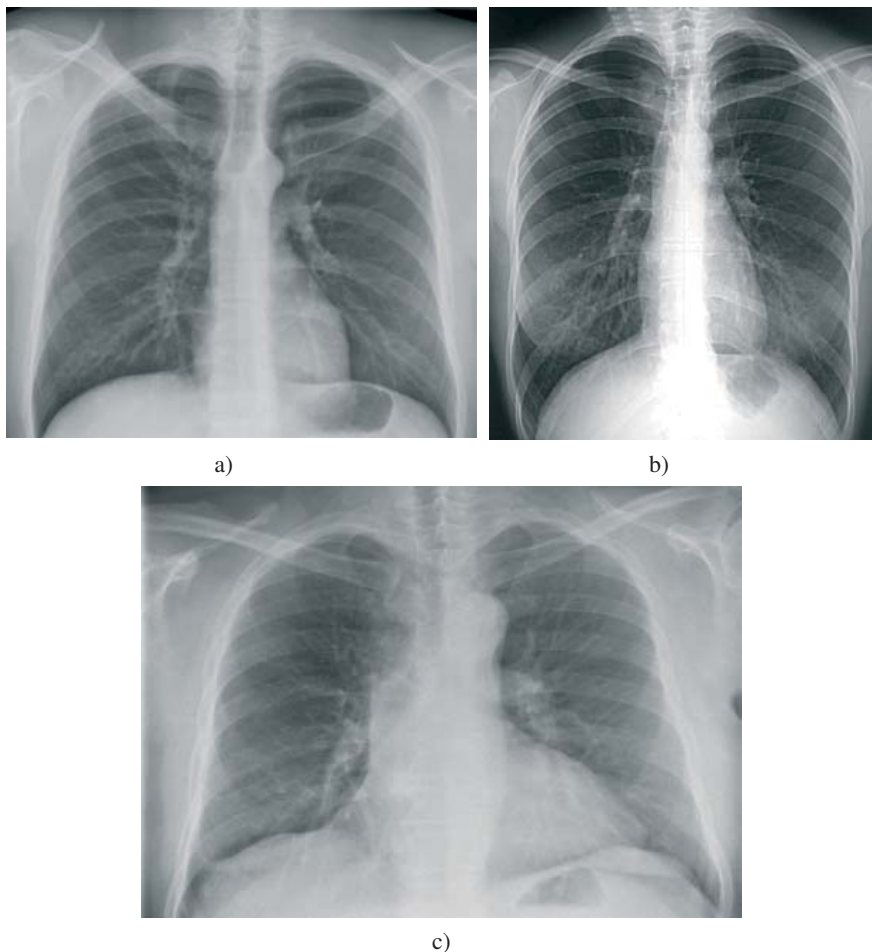
**Figura 4.3.** Aprecierea indicelui cardiotoracic.

Diametrul transversal maximal al umbrei cordului se calculează prin sumarea distanțelor de la linia centrală, trasată vertical prin mijlocul umbrei coloanei vertebrale, până la punctul cel mai drept (a) și cel mai stâng (b) al umbrei cordului (care, de regulă, se află la diferite niveluri). Diametrul transversal maximal al cutiei toracice se măsoară de la peretele intern (pe dreapta) la peretele intern (pe stânga) în locul cel mai lat al toracelui, dar mai sus de nivelul diafragmei.

Indicele cardiotoracic trebuie să fie indicat în fiecare raport în cazul radiografiei standard a cutiei toracice, în special dacă e vorba de un pacient cu patologie cardiovasculară. În normă, ICT are următoarele valori:

- La nou-născuți  $\leq 0,6$
- La adolescenți și adulți  $\leq 0,5$
- La vârstnici  $0,5-0,55$ .

Valorile normale mai mari ale ICT la nou-născuți (de regulă) și la vârstnici (frecvent) sunt cauzate de faptul că la acest contingent de pacienți diafragma este situată relativ mai sus și cordul astfel ocupă o poziție mai orizontală.



**Figura 4.4.** Forma umbrei cordului în diferite tipuri constituționale: a) normostenic, b) astenic, c) hiperstenic.

Așadar, dimensiunile și forma cordului la persoanele sănătoase pot varia în funcție de vârstă, faza de respirație, poziția pacientului în timpul efectuării radiografiei, faza ciclului cardiac, tipul constituțional. La hiperstenici poziția umbrei cordului este mai orizontală, iar la astenici – mai verticală (figura 4.4).

Concavitata între cele două convexități pe bordul drept al cordului se numește *unghiul atrio-vascular drept* și în mod normal este situată la mijlocul lungimii umbrei cordului.

Din stânga, aceeași regiune atrio-vasculară (artera pulmonară – urechiușa atriului stâng) poartă denumirea de *golful cardiac* sau "talie" a cordului; în mod normal, în această regiune arcurile nici nu proeminează excesiv, nici nu reprezintă concavitate.

Aceste aspecte, împreună cu poziția normală a punctelor de reper ale poziției și dimensiunilor cordului indicate mai sus, caracterizează configurația normală a cordului. Se disting trei variante de configurație patologică a cordului, caracteristice pentru diferite procese patologice (tabelul 4.1).

Tabelul 4.1.

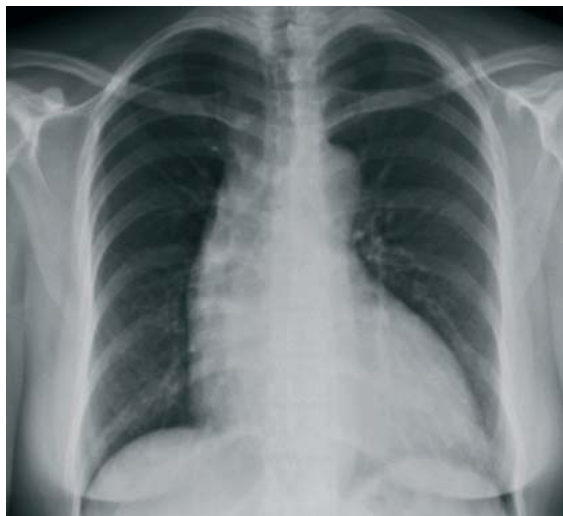
Caracteristica configurațiilor patologice ale cordului

<b>Configurația cordului</b>	<b>Mitrală</b>	<b>Aortală</b>	<b>Tricuspidală (triunghiulară, trapezoidă, cardiomiopatică)</b>
<b>Caracteristica</b>			
Unghiul atrio-vascular drept	Deplasat cranial	Deplasat caudal	Deplasat cranial
Golful cardiac	Nivelat, proeminează arcul arterei pulmonare	Pronunțat	Convexitățile cordului șterse, slab pronunțate
Butonul aortic	Micșorat sau dispăre	Proeminează	
Dilatatarea umbrei cordului	Poate fi dilatarea VS, mai mult sau mai puțin pronunțată. Poate fi dilatarea arcului AD și conturul dublu al marginii drepte a cordului pe seama AS mărit	Dilatarea VS Poate fi dilatarea aortei ascendente	Cordul este dilatat bilateral, „culcat” pe diafragmă
În ce patologii mai frecvent se întâlnește	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvulopatii mitrale</li> <li>• Defect septal atrial</li> <li>• Canalul arterial permeabil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valvulopatii aortale</li> <li>• Coarctatare aortică</li> <li>• Hipertensiune arterială sistemică</li> <li>• Tetralogia Fallot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pericardită exudativă cu exudat abundent</li> <li>• Valvulopatii polivalvulare, inclusiv cea tricuspidiană</li> <li>• Cardiomiopatie dilatativă</li> </ul>

Figurile 4.5, 4.6, 4.7 reprezintă configurațiile patologice ale cordului.



**Figura 4.5.** Configurația mitrală a cordului. Unghiul atrio-vascular drept deplasat cranial. Golful cordului este nivelat. Cordul dilatat spre stânga. Pacientă cu valvulopatie mitrală, operată (protezarea valvei mitrale). Poate fi vizualizată proteza mecanică cu disc în poziție mitrală și suturi metalice de sternorafie.

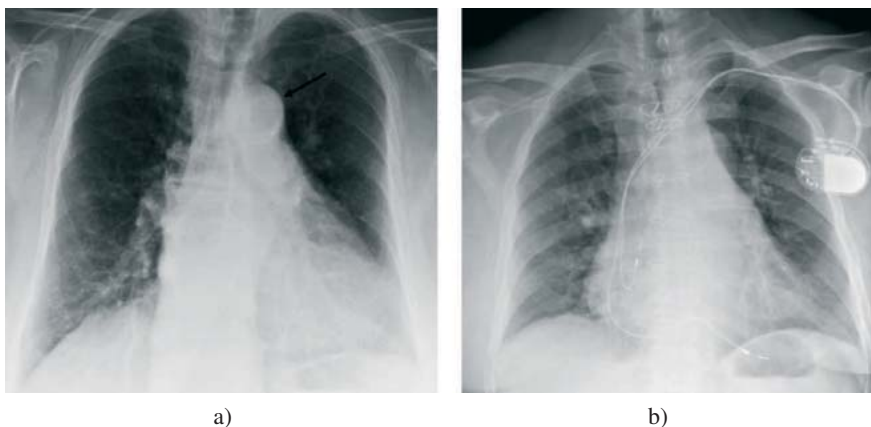


**Figura 4.6.** Configurația aortală a cordului. Pacientă cu valvulopatie aortică congenitală și anevrism de aortă ascendentă. Unghiul atrio-vascular drept deplasat caudal, proeminează arcul superior din dreapta. Pe bordul stâng al umbrei cordului – proeminează butonul aortei, golful cardiac pronunțat, cordul dilatat spre stânga.



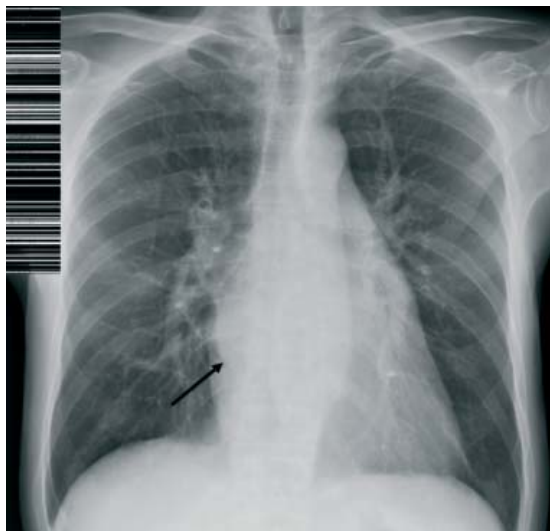
**Figura 4.7.** Configurația trapezoidă (tricuspidală, triunghiulară) a cordului. Pacientă cu valvulopatie polivalvulară cu afectarea severă a valvei mitrale și tricuspide. Cordul este dilatat bilateral, convexitățile șterse, unghiul atrio-vascular drept deplasat cranial.

În situații patologice, pe fundalul umbrei cordului pot fi vizualizate structurile cu densitate mai mare – calcinate cu localizare la nivelul valvelor cardiace, pereților aortei, pericardului etc. sau umbrele protezelor cardiace, inelelor valvulare de suport, pacemaker-ului, electrozilor intra-cardiaci (figura 4.8).



**Figura 4.8.** Vizualizarea structurilor cu densitate mare pe fundalul umbrei cordului: calcificarea peretelui crosei aortice, vizualizare în secțiune transversală (săgeata) (a); suturi metalice de sternorafie; electrozii pacemaker-ului cardiac (unul se află în atriu drept, altul – în ventriculul drept), se vizualizează și pacemaker-ul propriu-zis (b).

În caz de dilatare considerabilă a atriului stâng (ceea ce are loc, cel mai frecvent, în stenoza sau/și insuficiența mitrală considerabilă), în proiecția acestuia putem vizualiza o regiune cu densitate mai mare ("dublu contur") sau bordul atriului stâng poate să apară pe bordul drept al umbrei cordului, formând al treilea arc (figura 4.9).



**Figura 4.9.** Dilatarea atriului stâng – semnul de dublu contur pe fundalul umbrei cordului (săgeata). Pacient cu valvulopatie mitrală de origine reumatismală.

După cum se vede din tabelul 4.1, una și aceeași configurație patologică poate fi întâlnită în diferite maladii, a căror tactică de tratament, de asemenea, diferă. Are pacientul cu configurație mitrală pe radiografie stenoză mitrală sau canalul arterial permeabil? Iar cel cu configurație aortală – stenoză aortică sau tetralogia Fallot? Aspectul principal al diagnosticului radiografic diferențial în aceste situații este starea desenului pulmonar.

Reamintim că desenul pulmonar este o noțiune pur radiografică, iar până în prezent, datorită lui, radiografia standard a cutiei toracice rămâne punctul necesar al investigației primare a unui pacient cu suspiciune de patologie cardiovasculară, furnizând informația despre starea circuitului mic într-o singură privire.

Tabelul 4.2 evidențiază odată în plus particularitățile circulației sanguine pulmonare în general și cele ale desenului pulmonar normal.

## Particularitățile circulației sanguine pulmonare și desenul pulmonar normal

Particularitățile circulației sanguine pulmonare	Desenul pulmonar normal
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presiunea joasă în vasele pulmonare (25/10 mm Hg)</li> <li>• Rezistența joasă a peretelui vaselor circuitului pulmonar</li> <li>• Funcția de depanare a sângelui</li> <li>• Prezența vaselor ambelor circuite (pulmonar și sistemic)</li> <li>• Prezența anastomozelor artero-venoase și veno-arteriale (în mod normal, prin anastomoze circulă ≤ 1% din minut-volumul circuitului mic)</li> <li>• Dependența de mișcări respiratorii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este constituit de artere și vene pulmonare (la persoane de vârstă tânără și medie; la vârstnici (după 50-55 de ani) în structura desenului pulmonar apare, de asemenea, țesut conjunctiv interstițial)</li> <li>• Vasele se divizează dihotomic (fiecare se împarte în 2)</li> <li>• Diametrul fiecărui vas mai mic este de 2 ori mai mic decât diametrul vasului precedent</li> <li>• La radiograma în ortostatism, desenul pulmonar este mai pronunțat în regiunile inferioare</li> <li>• La distanța de 1,5-2 cm de la peretele toracic, desenul pulmonar nu se mai vizualizează (“mantaua pulmonară”, segmentul capilar)</li> <li>• Arterele pulmonare în regiunile bazale au direcția radială</li> <li>• Venele pulmonare în regiunile bazale au direcția orizontală, mai pronunțată în regiunile medii și inferioare</li> <li>• <b>Hilurile pulmonare normale:</b> la adulți lățimea hilului drept ≤ 14-15 mm și este egală sau cu 1-2 mm mai mică decât lățimea spațiului transparent între hilul drept și conturul cordului</li> </ul>

În patologia cardiovasculară, cele mai frecvente modificări patologice ale desenului pulmonar se pot manifesta prin:

- ”reducerea desenului pulmonar” – **hipovolemie arterială pulmonară**. Cu excepția situației de tromboembolie a uneia dintre ramurile arterei pulmonare, aceste modificări sunt bilaterale, simetrice;
- ”desen pulmonar accentuat”, care poate fi întâlnit în două situații patologice, ce diferă atât clinic și radiografic, cât și după tratament: **hipervolemia arterială și staza (congestia) venoasă**. Modificările, de asemenea, sunt bilaterale;
- **hipertensiune arterială pulmonară**, în care modificările radi-

Modificările desenului pulmonar în patologia cordului

Sindrom patologic	Cauză	Modificările desenului pulmonar	Patologia în care au loc schimbările indicate
<b>Hipovolemie</b>	Mișorarea cantității de sânge care vine în circuitul pulmonar în sistolă	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hipertreparența câmpurilor pulmonare</li> <li>• Arterele pulmonare periferice îngustate</li> <li>• Hilurile pulmonare îngustate, cu structura păstrată (uneori normale, uneori nu se vizualizează cert)</li> <li>• Arcul arterei pulmonare poate fi concav, bombat sau normal</li> </ul>	Malformațiile cardiace congenitale cu mișorarea volumului circuitului mic: stenoza de arteră pulmonară considerabilă izolată sau în cadrul malformațiilor cardiace congenitale complexe (de regulă, celor cianogene; cea mai frecventă – tetralogia Fallot)
<b>Hipervolemie arterială</b>	Mărirea cantității de sânge care vine în circuitul pulmonar în sistolă	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilatarea vaselor pulmonare periferice</li> <li>• Hilurile dilatate, cu structura păstrată</li> <li>• Câmpurile pulmonare transparente</li> <li>• Opacități nodulare în vecinătatea hilurilor (vasele dilatate în secțiunea transversală)</li> <li>• Golful cardiac, de regulă, nivelat, bombează arterei pulmonare</li> </ul>	Malformațiile cardiace congenitale cu mărirea volumului circuitului mic (cu comunica-re patologică între două circuite, așa-numite cu jet stânga-dreapta). Cele mai frecvente: defect septal ventricular, defect septal atrial, canal arterial permeabil
<b>Congestie venoasă</b>	Deregările returnării venos pulmonar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Omogenizarea hilurilor</li> <li>• Redistribuirea desenului pulmonar</li> <li>• Conturul vaselor și al bronșilor devine neclar</li> <li>• Diminuarea transparenței câmpurilor pulmonare</li> <li>• Linii Kerley</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stenoză mitrală congenitală și dobândită</li> <li>– Insuficiență mitrală</li> <li>– Cardiomiopatie restrictivă</li> <li>– Insuficiență ventriculară stângă</li> <li>– Insuficiență cardiacă globală</li> </ul>
<b>Hipertensiune pulmonară arterială</b>	Mărirea rezistenței vasculare pulmonare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilurile dilatate, cu structura păstrată</li> <li>• Opacități nodulare în vecinătatea hilurilor (vasele dilatate în secțiunea transversală)</li> <li>• Reducerea desenului pulmonar la periferie</li> <li>• Bombează arcul arterei pulmonare</li> <li>• Venele pulmonare îngustate</li> </ul>	Patologiile care duc la hipervolemie arterială în absența tratamentului împurii (de ex., defect septal ventricular); dezvoltarea hipertensiunii arteriale pulmonare este rezultatul evoluției naturale a acestor patologii

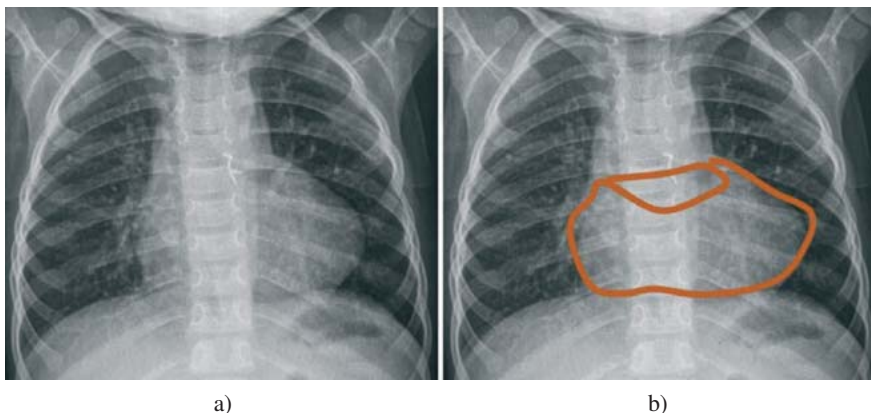


ologice includ semnele atât ale ”desenului pulmonar accentuat”, cât și cele ale hipovolemiei.

Hipertensiunea pulmonară poate fi și de origine venoasă (sau stare de pre-edem pulmonar). Aceasta se dezvoltă la pacienți cu patologie cardiovasculară de bază, care duce la staza venoasă în circuitul mic; corespunzător, tabloul radiologic în acest caz include semne de congestie venoasă pulmonară.

Modificările de bază ale desenului pulmonar în patologia cardiovasculară sunt prezentate în tabelul 4.3.

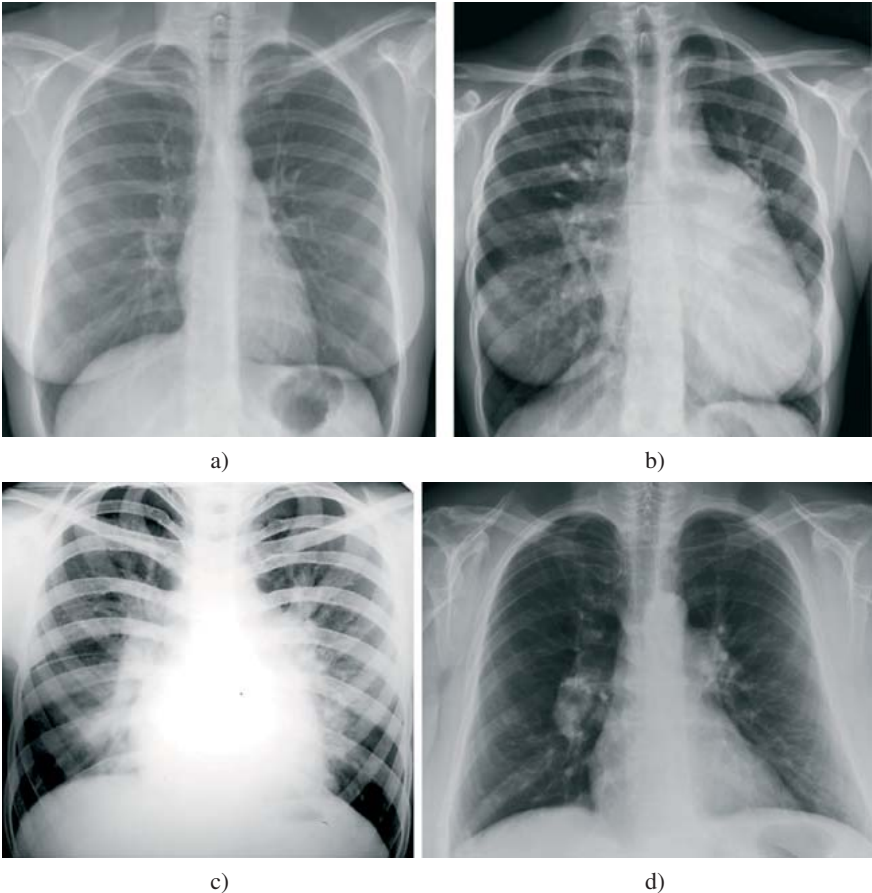
În cazul **hipovolemiei arteriale**, radiografia relevă o hipertransparență bilaterală, simetrică a câmpurilor pulmonare, în urma debitului sangvin scăzut al circuitului mic, cauzat de un obstacol sever, care poate fi localizat la nivelul: tractului de ejecție a ventriculului drept, valvei sau/și trunchiului arterei pulmonare. În cazul stenozei severe izolate de valva arterei pulmonare, pe radiografie vom depista proeminența arcului arterei pulmonare – rezultatul dilatării poststenotice. În cazul tetralogiei Fallot, care foarte frecvent este asociată cu hipoplazia trunchiului și a ramurilor arterei pulmonare, arcul arterei pulmonare va prezenta o concavitate. Aceeași situație va fi și în cazul unor malformații cardiace congenitale complexe (de ex., atrezie de arteră pulmonară) (figura 4.10).



**Figura 4.10.** Radiografia cutiei toracice de față în tetralogia Fallot. Hipertransparență pulmonară bilaterală. Vasele pulmonare îngustate bilateral. Arcul arterei pulmonare concav. De notat: configurația cordului este cea aortală – golful cardiac pronunțat, unghiul atrio-vascular drept deplasat caudal. Forma cordului în acest caz este numită ”coeur en sabot” (în franceza – ”cordul în forma unui papuc de lemn”). Papucul se caracterizează prin ”nasul” ridicat în sus. În cazul pacientului cu tetralogia Fallot, hipertrofia ventriculului drept duce la deplasarea laterală a ventriculului stâng cu ridicarea apexului asupra diafragmei.

Amintim componentele tetralogiei Fallot:

- Defect septal ventricular.
- Dextrapozitia aortei (aorta “călare” pe septul interventricular).
- Stenoza arterei pulmonare (totdeauna considerabilă!).
- Hipertrofia ventriculului drept. Acest semn este secundar stenozei de arteră pulmonară și nu este evident îndată după naștere, dar se dezvoltă foarte rapid.



**Figura 4.11.** a) desen pulmonar normal; b) hipervolemie arterială; c) stază (congestie) venoasă; d) hipertensiune arterială pulmonară

În cadrul **stazei venoase**, crește presiunea capilară pulmonară medie, care în mod normal este de 5-10 mm Hg. Mărirea acesteia până la 10-15

mm Hg deja duce la redistribuirea sau "cefalizarea" desenului pulmonar: fiind în mod normal mai pronunțat în regiunile inferioare la radiografia standard a cutiei toracice, acesta devine mai pronunțat în regiunile medii și superioare. Liniile Kerley apar la începutul dezvoltării edemului interstițial și reprezintă linii opace, subțiri cu lungimea de 1,5-2 cm, perpendiculare pleurei, situate mai frecvent în regiunile inferioare.

Hipervolemia arterială pulmonară permanentă (hiperdebitul pulmonar) provoacă un vasospasm cronic, urmat de vasoconstricție cronică și hipertrofie de mediu. Din cauza acestor modificări are loc mărirea vitezei circulației sangvine, circulația turbulentă și mărirea presiunii în artera pulmonară. La etapa următoare se dezvoltă leziunea endoteliului cu fibroza de intimă a arteriolelor pulmonare. Lumenul intern al ramurilor arterelor pulmonare devine mai îngust, ceea ce creează impresie vizuală de hipertransparență pulmonară periferică, și mai evidentă datorită faptului că este asociată cu dilatarea pronunțată a hilurilor – desenul pulmonar "abrupt". Apare tabloul radiologic caracteristic pentru **hipertensiunea arterială pulmonară avansată**. Apariția lui la un pacient suferind de o malformație cardiacă congenitală cu mărirea volumului circuitului mic este un semn de prognostic nefavorabil și relevă că maladia, cel mai probabil, a ajuns stadiul târziu, deja inoperabil (figura 4.11).

#### 4.1.2. Investigații radiologice cu substanță de contrast

Pentru evaluarea patologiei cardiovasculare poate fi indicat cateterismul cardiac și/sau angiografia.

*Cateterismul cardiac și/sau angiografia* (ventriculografia, aortografia, angiocoronarografia, flebografia etc.) reprezintă o metodă invazivă de investigație. Substanța de contrast se introduce ținând înțit într-un vas sau într-o cavitate a cordului, a cărei investigație a fost planificată, cu ajutorul unui cateter, care la rândul lui este introdus prin calea venoasă sau arterială sub control radiosopic până la cavitatea sau vasul care este ținta investigației (figura 4.12).

Cateterismul cardiac și angiografia sunt indicate cu scop de evaluare a vaselor sangvine periferice, a vaselor magistrale și a cavităților cordului. Ele permit măsurarea directă a presiunilor intracardice și pulmonare, prelevarea probelor sangvine din cavitățile cordului cu aprecierea oxigenării. Fiind o parte importantă a cardiologiei intervenționale, cu ajutorul acestor metode se efectuează și manipulații de tratament (valvuloplastia cu balon,

vasoplastia cu balon, plasarea stenturilor intravasculare, închiderea defec-  
telor septale mici cu ocluderi, embolizarea vaselor tumorale etc.).



**Figura 4.12.** Angiopulmonografia.

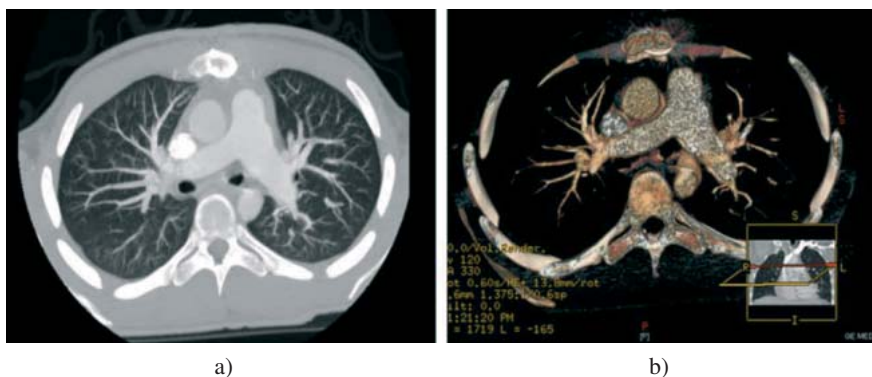
#### **4.1.3. Tomografia computerizată în regim angiografic (angio-CT)**

*Tomografia computerizată* în patologia cardiovasculară este indica-  
tă în primul rând pentru explorarea vaselor sangvine și de aceea implică  
folosirea substanței de contrast, reprezentând astfel tomografia computeri-  
zată în regim angiografic (în practică frecvent se folosește denumirea de  
*angio-CT*) (figura 4.13). Explorarea cordului cu ajutorul tomografiei com-  
puterizate a devenit posibilă odată cu introducerea în practica clinică a  
metodei CT spiralate, care a micșorat timpul scanării.

Indicațiile de bază pentru angio-CT reprezintă patologia vaselor sang-  
vine (atât vaselor mari, cât și celor periferice). Metoda, de asemenea, poate  
fi indicată pentru evaluarea maselor cardiace sau patologiei pericardului (în  
cazuri rare, când investigațiile prin alte metode cum ar fi ecocardiografia sau  
IRM sunt neinformative sau contraindicate). Una din indicațiile majore pen-  
tru această investigație este suspiciunea de embolism pulmonar (figura 4.13).  
Substanța de contrast pentru angio-CT se introduce printr-un cateter venos,  
plasat în vena periferică, din care cauză metoda se consideră neinvazivă.

Contraindicații pentru investigațiile radiologice cu substanța de con-  
trast, atât cele convenționale, cât și tomografia computerizată, reprezintă  
toate cazurile ce țin de utilizarea radiației ionizante (în primul rând, peri-

oada de sarcină) și de folosirea substanței de contrast (insuficiența renală, reacții adverse la substanțe de contrast iodate cunoscute în antecedente).



**Figura 4.13.** Tomografia computerizată în regim angiografic: a) secțiunea axială (transversală) prin bifurcația arterei pulmonare; b) reconstrucția 3D la același nivel.

## 4.2. ALTE METODE IMAGISTICE ÎN EXPLORAREA CORDULUI

### 4.2.1. Ecocardiografia

Aplicarea ultrasunetului pentru explorarea cordului și a vaselor sanguine a avut un adevărat efect revoluționar asupra diagnosticului patologiei cardiovasculare. Având mai multe avantaje (fiind neinvazivă, neiradiantă, repetitivă de atâtea ori de câte este nevoie, posibilă de efectuat la patul bolnavului sau în sala de operație, relativ puțin costisitoare), metoda permite o analiză minuțioasă a morfologiei și a funcției cordului, și anume:

- Analiza precisă a anatomiei intracardiace cu posibilitatea evaluării detaliate a fiecăruia din compartimentele cordului în parte și în relație reciprocă cu alte compartimente.
- Analiza hemodinamicii intracardiace și la nivelul vaselor mari.
- Analiza contractilității miocardului.
- Explorarea pericardului.

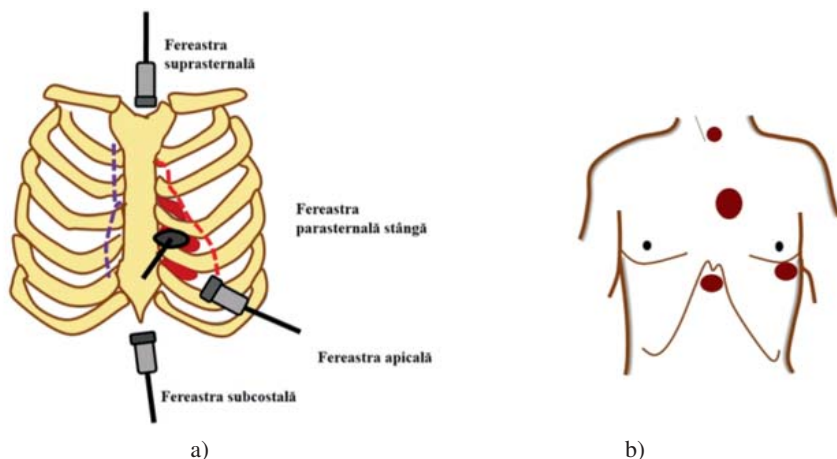
Ca și orice metodă de investigație, ecocardiografia are dezavantajele sale. Acestea sunt:

- Dependența de operator.
- Durata relativ lungă de investigație: pentru o ecocardiografie transtoracică calitativă a unui pacient primar, medicul are nevoie de circa 45 de minute pentru investigația propriu-zisă.

- Dificultatea sau chiar imposibilitatea de a investiga regiunile acoperite cu structurile osoase sau structurile ce conțin aer.

Acest din urmă dezavantaj, caracteristic pentru orice investigație ultrasonografică, este de o importanță deosebită pentru investigația ultrasonografică a cordului. Fiind situat în cutia toracică, cordul este înconjurat de structuri osoase multiple (stern, coaste) și în același timp de plămâni care conțin aer. Pentru a putea investiga cordul, examinatorul este nevoit să caute ”locușoare” pe cutia toracică, unde cordul nu este acoperit cu aer și cu oase. Acestea se numesc *ferestre acustice* și în cazul poziției standard a cordului sunt în număr de patru (figura 4.14):

- Parasternală (spațiul intercostal III-IV din stânga sternului).
- Apicală – în proiecția apexului cordului.
- Suprasternală.
- Subxifoidiană (subcostală).



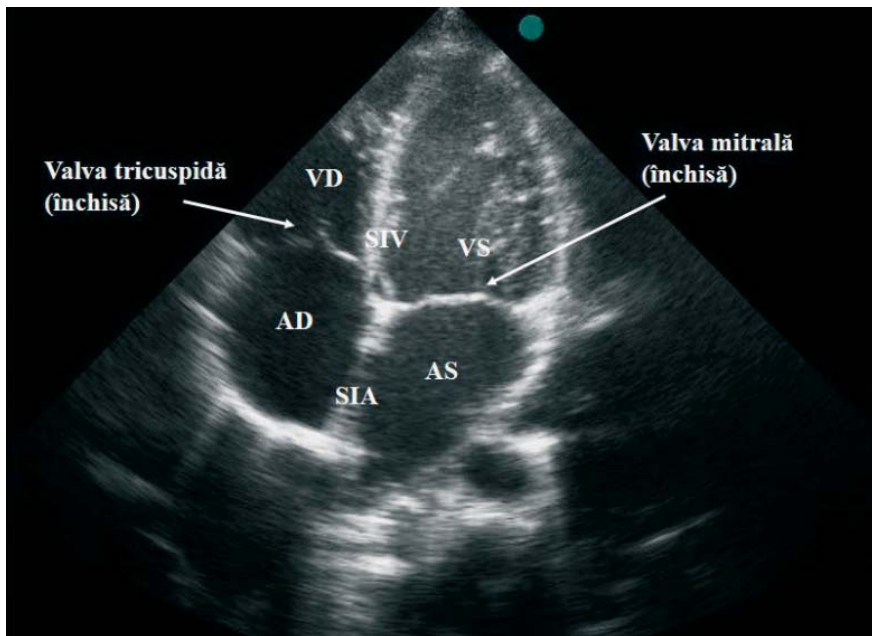
**Figura 4.14.** Ferestrele acustice de bază pentru ecocardiografia transtoracică: a) schema; b) proiecția aproximativă pe peretele toracic.

Din aceste patru incidențe, înclinând și rotind transductorul, examinatorul are posibilitatea să examineze pe deplin toate compartimentele cordului și valvele cardiace. În cazul dextracordiei, incidența parasternală și cea apicală sunt situate ”în oglindă” – din dreapta sternului.

Minimul necesar al modalităților ultrasonografice pentru efectuarea ecocardiografiei calitative actualmente include:

- Ecografia modul 2D (figura 4.15);
- Ecografia modul M, pe baza căreia se efectuează unele măsurători necesare ale compartimentelor cordului și estimarea contractilității miocardului;

- Ecografia Doppler, inclusiv Doppler pulsatil, continuu și color.



**Figura 4.15.** Ecocardiografia 2D (bidimensională), secțiunea apicală 4 camere. Transductorul este plasat în proiecția apexului și structurile cordului aflate mai aproape de el sunt situate în partea superioară a ecranului, astfel, apexul este în partea superioară a imaginii, iar atriile – în partea inferioară.

Sincronizarea ecocardiografiei cu înregistrarea traseului electrocardiografic, care, de obicei, se afișează în partea inferioară a monitorului, permite o mai bună analizare a contractilității segmentare și funcției valvulare în dependență de fazele ciclului cardiac.

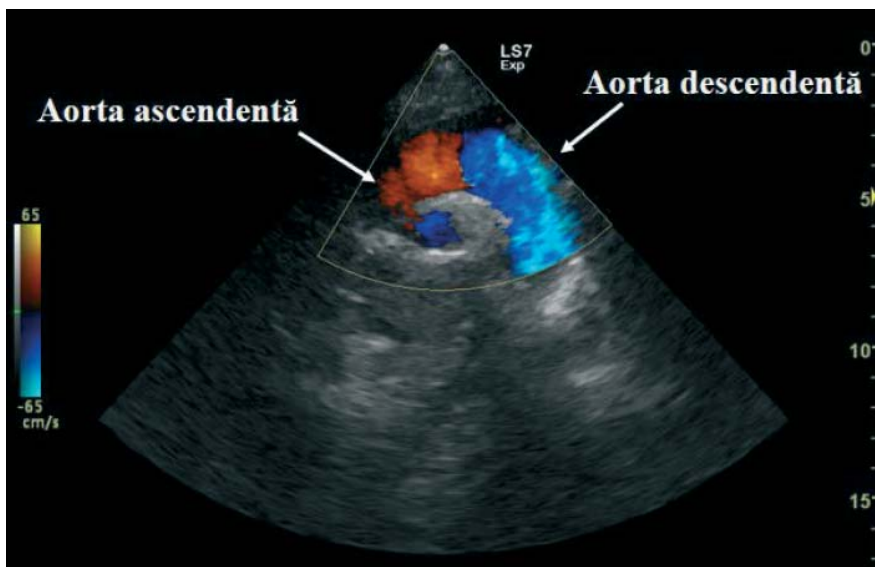
Utilizarea modalităților Doppler (reflecția ultrasunetului de la structurile în mișcare) permite evaluarea hemodinamicii intracardiace, la nivelul valvelor și al vaselor mari, prin analiza fluxurilor sangvine. Avem posibilitatea să evaluăm:

- Direcția jetului sangvin.
- Viteza acestuia și gradientele presionale.
- Debitul.
- Prezența și caracteristica jeturilor sangvine patologice (regurgitarea valvulară, jeturi la nivelul comunicațiilor patologice, de ex. defect septal ventricular etc.).

Metoda **Doppler pulsatil** permite aprecierea vitezei jetului sangvin la orice nivel ales de examinator, corectă în cazul în care alinierea este corectă și viteza nu este mărită (aproximativ 1 m/sec).

Pentru aprecierea vitezelor mari (de exemplu, stenoza valvulară, când pentru a lua decizia privind tactica de tratament este necesară estimarea gradului de stenoză) se folosește metoda **Doppler continuu**.

Metoda **Doppler color** sau, mai corect, Doppler cu codificare în culori, deoarece nu este altceva decât metoda Doppler pulsatil cu codificare în culori, simplifică analizarea fluxurilor sangvine patologice și permite ghidarea semnului de volum pentru calcularea corectă a vitezelor maxime la nivelul ales. Amintim că codificarea în culori se efectuează în funcție de direcția jetului sangvin față de transductor. Dacă jetul sangvin este dirijat spre transductor, el este codificat în culoare roșie, iar dacă este dirijat de la transductor, este codificat în culoare albastră. Așadar, unul și același jet sangvin, în diferite planuri de secțiune poate să apară și roșu, și albastru, în dependență de poziția transductorului (figura 4.16).



**Figura 4.16.** Ecocardiografia Doppler color, secțiunea suprasternală. Aorta este secționată în plan sagital, pe imagine se vizualizează o parte din aorta ascendentă, crosa aortică și o parte din aorta descendentă. Transductorul se află în partea superioară a imaginii (vârful sectorului). De notat modificarea bruscă a culorii pe parcursul unuia și aceluiași jet sangvin în aortă. La nivelul aortei ascendente, fiind dirijat spre transductor, el este colorat în roșu. După ce direcția lui s-a schimbat (aorta descendentă), colorația, de asemenea, s-a schimbat brusc din roșu în albastru.



Raportul investigației ecocardiografice standard trebuie să includă:

- Dimensiunile tuturor cavităților cordului, măsurate conform regulilor standard.
- Date despre volume și contractilitatea miocardului ventriculului stâng (în unele cazuri – și a ventriculului drept).
- Dimensiunile inelelor fibroase valvulare, aortei ascendente, trunchiului (în unele cazuri – și a ramurilor) arterei pulmonare.
- Caracteristica morfologică și hemodinamică a tuturor valvelor cardiace (gradientele presionale, prezența și gradul de regurgitare valvulară).
- Prezența și caracteristica comunicațiilor patologice (defect septal ventricular, defect septal atrial etc.).
- Caracteristica pericardului.

Pentru a aprecia corect dimensiunile compartimentelor cordului la copii este indispensabilă cunoașterea parametrilor antropometrici (înălțimea și greutatea) și folosirea nomogramelor.

#### **4.2.2. Investigația imagistică prin rezonanța magnetică (IRM) a cordului**

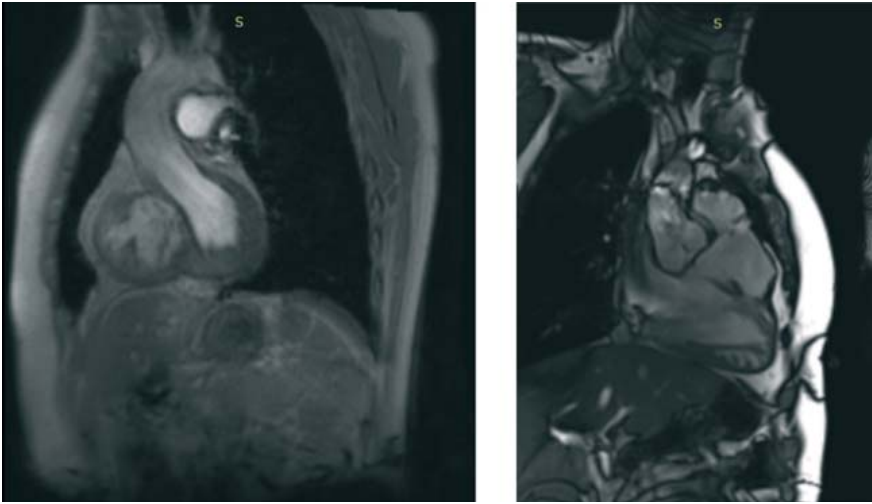
Primele rapoarte despre utilizarea imagisticii prin rezonanța magnetică în diagnosticul patologiei cardiovasculare datează cu începutul anilor '90 ai secolului XX. Metoda are numeroase avantaje, fiind neionizantă și permițând obținerea tuturor planurilor reale de secțiuni care sunt necesare pentru evaluarea compartimentelor cordului. Investigația vaselor sangvine nu necesită introducerea substanței de contrast. Pot fi efectuate măsurători ale diferitor parametri (cavitățile cordului, vasele magistrale, grosimea miocardului). Vizualizarea structurilor cordului este perfectă (figura 4.17).

Totuși, indicațiile pentru investigația IRM a cordului până în prezent rămân limitate din cauza dezavantajelor ei principale, care sunt:

- Costul înalt al investigației și ca urmare accesibilitatea limitată.
- Durata îndelungată a scanării.
- Calitatea scăzută a vizualizării structurilor calcificate.

Indicațiile principale pentru investigația IRM a cordului sunt:

- Analiza funcției globale și segmentare a miocardului, masei miocardului.
- Diagnosticul diferențial al cardiomiopatiilor.



**Figura 4.17.** Imaginile structurilor cardiace, obținute cu ajutorul investigației IRM.

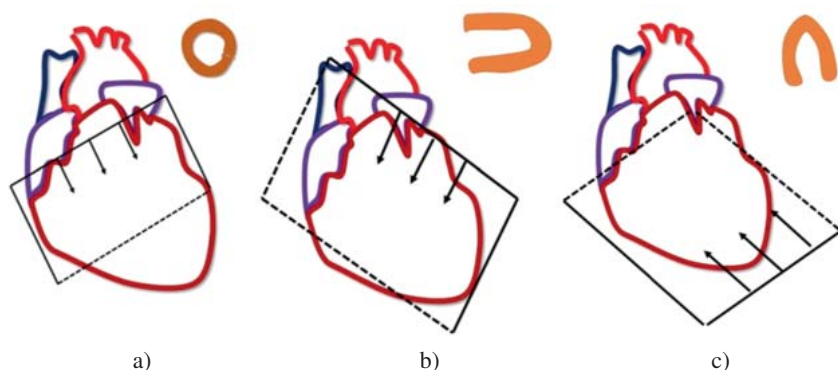
- Analiza anatomiei intracardiace (în malformațiile cardiace congenitale complexe, când examinarea ecocardiografică prezintă dificultăți în caracteristica și evaluarea relațiilor reciproce spațiale ale compartimentelor cordului).
- Evaluarea tumorilor intra- și paracardiace.
- Evaluarea patologiei pericardului.

Prezența aritmiilor severe, în special a fibrilației atriale, poate cauza artefacte ale imaginii și astfel reprezintă o limită pentru investigație. Unii pacienți cardiovasculari au contraindicații absolute pentru investigația IRM. La acest grup se referă pacienții purtători de pacemaker cardiac (electrocardiostimulator), pacienții cu suturi metalice pe stern după intervenție chirurgicală pe cord deschis, pacienții intubați la ventilație artificială. La același grup se pot referi, de asemenea, pacienții cu stenturi intravasculare și pacienții cu proteze mecanice ale valvelor cardiace. În cazul acestora din urmă, înainte de a lua decizia definitivă, este indicată consultația site-ului special.

#### **4.2.3. Metodele medicinei nucleare în explorarea cordului**

Din metodele medicinei nucleare, pentru explorarea cordului la etapa actuală se folosește *scintigrafia planară*, deja mai rar, cedând prioritatea metodelor precum *tomografia computerizată cu emisie de foton unic* (*single photon emission computed tomography*, SPECT) și *tomografia cu emi-*

sie de pozitroni (positron emission tomography, PET). Luând în considerație particularitățile și capacitatea de rezoluție relativ joasă în comparație cu alte metode imagistice, metodele medicinei nucleare sunt indicate pentru examinarea stării miocardului ventriculului stâng și, în special, a contractilității globale și segmentare. Pacienții respectivi sunt în primul rând cei cu cardiopatie ischemică. Metodele SPECT și PET se consideră standardul de aur pentru evaluarea perfuziei miocardului și permit diagnosticul diferențial între zone de ischemie, care pot fi afuncționale, dar viabile și vor relua funcția în cazul unei revascularizări adecvate chirurgicale sau intervenționale ("stunning myocardium", "hibernating myocardium"), și zone de necroză, unde miocardul este deja înlocuit de țesut conjunctiv.



**Figura 4.18.** Schema planurilor de secțiuni standard și aspect de imagine obținută în fiecare plan în investigația miocardului cu radionuclizi: a) secțiunea pe ax scurt, b) secțiunea pe ax lung, c) secțiunea pe ax orizontal.

Indicațiile de bază pentru investigație sunt:

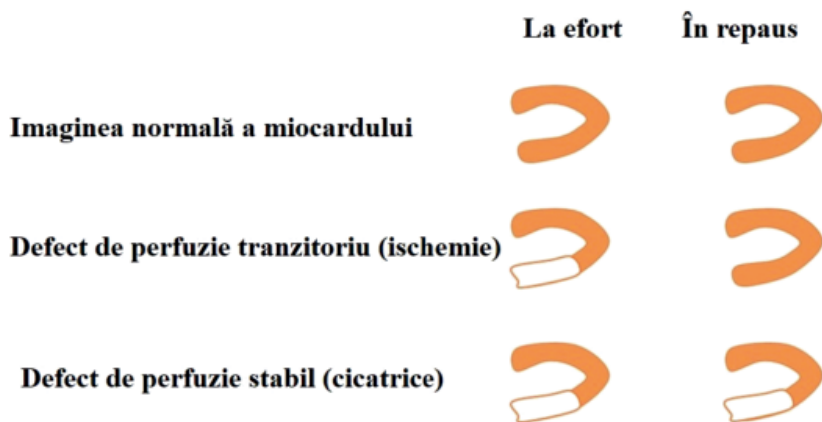
- Diagnosticarea cardiopatiei ischemice, în special în cazuri dubioase.
- Identificarea miocardului viabil.
- Controlul calității terapiei.

Pentru un diagnostic diferențial corect, investigația trebuie să includă două achiziții: una în repaus și alta la efort, concluzia definitivă fiind făcută prin comparația lor.

De obicei se efectuează secțiunile în 3 planuri reciproc perpendiculare, a căror orientare se face față de axul lung al cordului: pe ax scurt, pe ax lung și orizontal (figura 4.18).

Zonele cu concentrație redusă de preparat radiofarmaceutic, identificate pe scintigrame și tomograme, se numesc defecte de perfuzie și sunt clasificate ca fiind stabile și tranzitorii. Cele stabile se înregistrează fără

modificări pe toate imaginile fără excepție: de bază în repaus, la efort, după efort. Acestea caracterizează prezența de cicatrice; în afara cazurilor de necroză miocardică în cardiopatie ischemică, ele pot fi înregistrate și în cazul cardiosclerozei datorate maladiilor inflamatorii, infecțioase sau altor afecțiuni miocardice. Defectele de perfuzie tranzitorii se înregistrează după efort și dispar complet sau diminuează în dimensiuni la tomo- și scintigrame întârziate post-efort și în repaus. Defectele de perfuzie tranzitorii sunt considerate cele mai caracteristice pentru ischemia miocardică datorată aterosclerozei coronariene (figura 4.19).



**Figura 4.19.** Aspect normal al miocardului și defecte de perfuzie (tranzitoriu și stabil) pe peretele posterior al ventriculului stâng (schema în plan de secțiune pe ax lung).

## V. RADIOIMAGISTICA TUBULUI DIGESTIV

### 5.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ ȘI METODELE RADIOLOGICE DE EXAMINARE A TUBULUI DIGESTIV

Diagnosticul imagistic al afecțiunilor tubului digestiv prevede explorarea esofagului, stomacului, duodenului, intestinului subțire și intestinului gros. În primul rând se indică investigațiile radiologice, și anume:

- Radiografia abdominală pe gol;
- Radiografia tubului digestiv cu substanță de contrast;
- Tomografia computerizată.

De asemenea, pot fi indicate, mai rar, ultrasonografia și metodele medicinei nucleare. În ultimul timp se dezvoltă explorarea tubului digestiv prin ultrasonografia endoluminală, ceea ce ne poate oferi o informație importantă despre particularitățile pereților organelor cavitare ale tubului digestiv, însă metoda este invazivă și foarte costisitoare, iar utilizarea ei în practica clinică este limitată.

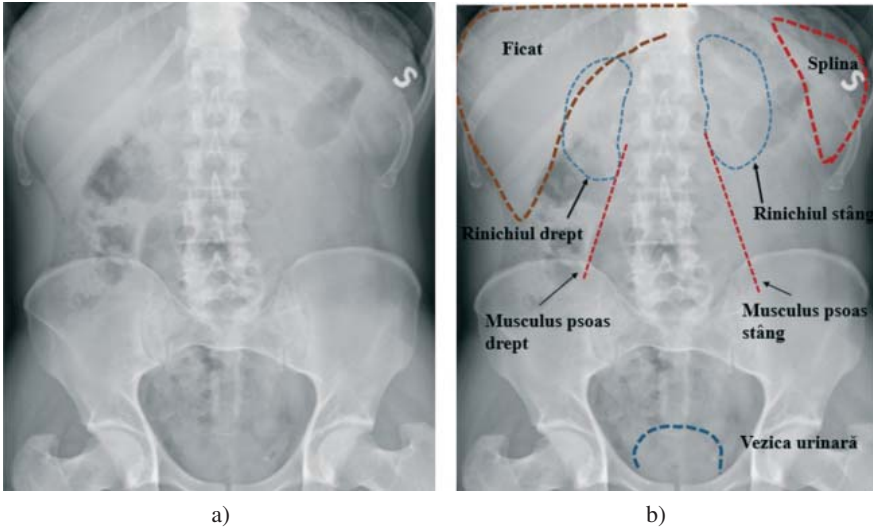
#### 5.1.1. Radiografia abdominală pe gol

Radiografia abdominală pe gol poate preceda investigația organelor cavității abdominale cu substanță de contrast sau poate fi indicată ca o investigație de sine stătătoare. Aceasta din urmă, de regulă, se indică în cazul sindromului de abdomen acut (pacientul acuză durere violentă în cavitatea abdominală, care s-a instalat brusc. Sindromul se poate întâlni în mai multe patologii, în unele din ele diagnosticul putând fi stabilit cu ajutorul radiografiei abdominale pe gol). În terminologia medicală franceză investigația este numită "abdomen sans préparation" (abdomenul fără preparare), ceea ce tocmai reflectă particularitățile ei (figura 5.1). Pacientul nu necesită pregătire, însă în cazul sindromului abdominal acut investigația se efectuează în poziție verticală. O astfel de radiografie corect efectuată trebuie să includă:

- Superior – diafragma și sinusurile costo-diafragmale (pentru a nu scăpa din vedere semne de pneumoperitoneum. În acest caz și cu același scop poate fi efectuată și radiografia standard a cutiei toracice).
- Inferior – simfiza pubiană.

Radiografia abdominală pe gol poate evidenția:

- Structurile anatomice (piese scheletice, ficat, rinichi, mușchii psoas);
- Acumulări de gaz în ansele intestinale;
- Simptome patologice, dintre care cele mai frecvente:
  - ✓ calcificări în cavitatea abdominală cu diferite localizări (vezica biliară, rinichi, bazinul mic, peretele vascular, chist hidatic calcificat etc.);
  - ✓ corpi străini;
  - ✓ pneumoperitoneum;
  - ✓ niveluri hidro-aerice;
  - ✓ aerobilie;
  - ✓ semnul "double bubble" etc.

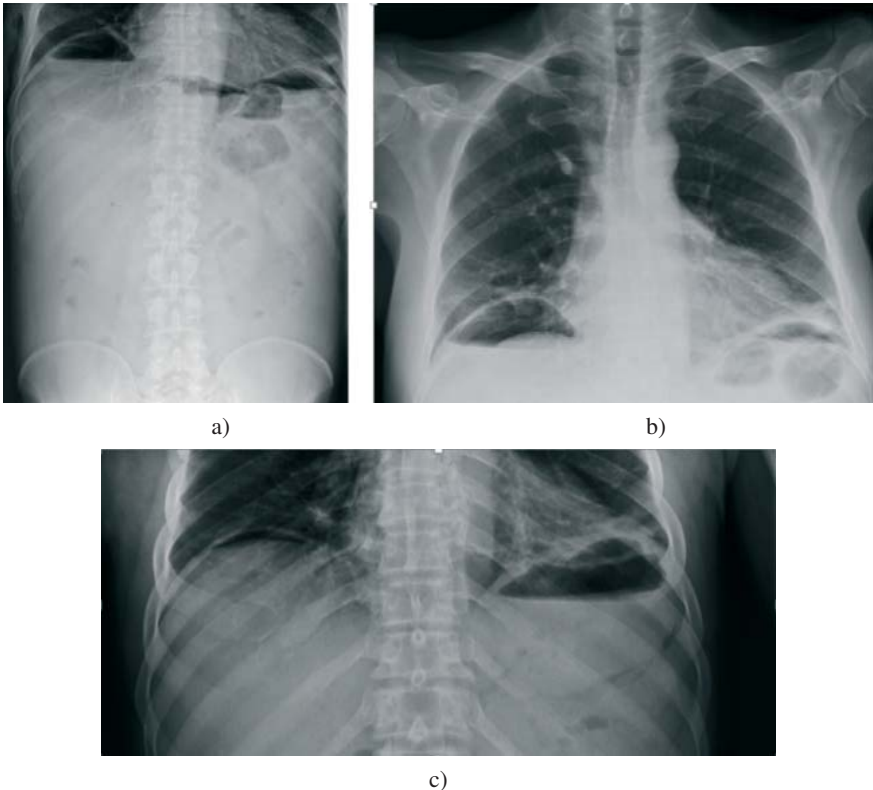


**Figura 5.1.** a) radiografia abdominală pe gol; b) schema proiecției umbrei organelor parenchimatose abdominale la radiografie abdominală pe gol.

Radiografia abdominală pe gol poate pune în evidență calculii cu localizare în diferite structuri ale aparatului urinar (de la calice și până la vezica urinară); glandele suprarenale, vezica biliară, prostata și, de asemenea, calcificări cu diferite localizări: pancreasul, splina, ganglionii limfatici, peretele vascular (arterial sau venos), peretele chisturilor cu diferită localizare, apendicele, fibromul uterin.

### 5.1.2. Simptomele radiologice patologice în cazul abdomenului acut

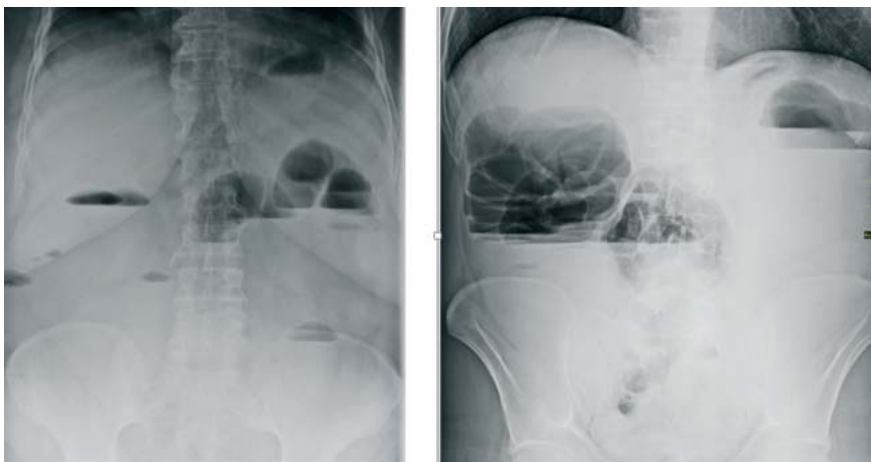
**Pneumoperitoneum.** Subdiafragmal (din stânga, din dreapta sau bilateral) apare o zonă transparentă, care are forma de semilună, mai evidentă în cazul localizării sub hemidiafragmul drept. Simptomul apare în cazul perforației unui organ cavitărilor abdominală și indică prezența aerului liber în cavitatea abdominală. Unul din cele mai frecvente cazuri este ulcerul gastric perforat. Cantitatea de aer poate fi diferită, în funcție de localizare și dimensiunile orificiului perforat, fapt care implică analizarea minuțioasă a acestor zone și la orice radiografie a cutiei toracice (figura 5.2). Radiografia cutiei toracice poate, de asemenea, să pună în evidență niveluri orizontale hidro-aerice în proiecția mediastinului (se pot întâlni în acalazia cardiei) și relaxarea diafragmei.



**Figura 5.2.** Pneumoperitoneum: a), b) același pacient: a) radiografia abdominală pe gol; b) radiografia cutiei toracice de față; c) alt pacient.

**Nivelurile hidro-aerice** ("cuiburi de rândunici") (figura 5.3), apărute în proiecția anselor intestinale, reprezintă semnul obstrucției intestinale (mecanice sau dinamice (funcționale)). În cazul obstrucției la nivelul intestinului gros, nivelurile hidro-aerice sunt situate mai mult pe flancuri, diametrul vertical este mai mare decât cel orizontal. În cazul localizării obstrucției la nivelul intestinului subțire, diametrul orizontal este mai mare decât cel vertical, localizarea mai mult centrală poate varia în funcție de segmentul afectat (jejunul sau ileonul).

În unele cazuri de obstrucție intestinală, în special la nivelul intestinului gros, și în unele cazuri de perforare a unui organ cavitătar (cantitatea mică de aer liber în cavitatea abdominală), semnele radiografice pot fi dubioase și dificile de depistat. Acești pacienți vor necesita tomografia computerizată în mod urgent. În unele cazuri, examinarea ultrasonografică, de asemenea, poate fi utilă.



**Figura 5.3.** Niveluri hidro-aerice în ocluzie intestinală.

### **5.1.3. Radiografia organelor tubului digestiv cu substanță de contrast**

Radiografia abdominală pe gol nu oferă posibilitatea de a studia modificările morfologice și funcționale ale organelor propriu-zise ale tubului digestiv. Pentru diferențierea acestora din structurile înconjurătoare este necesară contrastarea artificială.



Investigația radiologică a organelor tubului digestiv cu substanță de contrast explorează atât morfologia, cât și funcția lor și prevede nu numai radiografii, dar în mod obligatoriu și radioscoopia, în diferite poziții ale pacientului și la diferite momente de timp după introducerea contrastului. Concluzia medicului radiolog în cazul explorării tubului digestiv nu poate fi făcută doar în baza radiogramelor.

Investigația ne oferă informația privind morfologia compartimentelor tubului digestiv:

- ✓ poziție,
- ✓ formă,
- ✓ contururi,
- ✓ dimensiuni,
- ✓ starea mucoasei,

și, de asemenea, referitoare la aspectele funcționale:

- ✓ umplere,
- ✓ tonus,
- ✓ peristaltism,
- ✓ tranzit,
- ✓ secreție,
- ✓ evacuare.

*Tranzitul* reprezintă umplerea segmentelor tubului digestiv urmată de evacuarea progresivă a conținutului în direcție anterogradă.

*Peristaltismul* (undele peristaltice) reprezintă mișcările axiale ale segmentelor de tub digestiv, care determină deplasarea progresivă a conținutului endoluminal. Undele peristaltice pot fi caracterizate prin:

- ✓ amplitudine,
- ✓ frecvență,
- ✓ viteza de propagare.

*Secreția* este rezultatul funcției glandelor parietale. Ele secretă lichid ce conține mucină și sucuri digestive. Radiografic secreția poate fi vizualizată doar la nivelul stomacului.

Substanța de contrast de bază care se folosește pentru investigația organelor tubului digestiv este sulfatul de bariu. Sulfatul de bariu reprezintă o substanță de contrast radiopozitivă insolubilă și datorită acestor proprietăți asigură o contrastare calitativă și practic nu are reacții adverse. Se administrează pe cale enterală (per os, prin sondă duodenală, prin fistule

sau per rectum) în formă de suspensie, pregătită înainte de investigație și amestecată repetat nemijlocit înainte de introducere.

Pot fi indicate și substanțe de contrast radiopozitive hidrosolubile, de obicei:

- La nou-născuți în cazul suspiciunii de anomalie de dezvoltare a tubului digestiv;
- În cazul suspiciunii de perforare a organului cavitat, când radiografia abdominală pe gol nu este relevantă;
- În cazul fistulelor interne sau suspiciunii de existență a acestora;
- În perioada postoperatorie precoce după intervenția chirurgicală pe tubul digestiv.

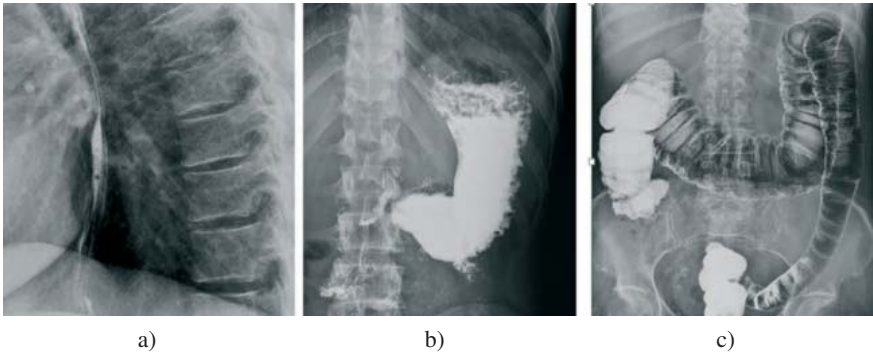
În unele cazuri se indică și substanțe de contrast radionegative (gaze, cel mai frecvent, aerul). Componența și cantitatea substanței de contrast poate fi diferită, în funcție de sarcina atribuită. Pe parcursul investigației unuia și aceluiași pacient pot fi utilizate diferite modalități de contrastare (tabelul 5.1, figura 5.4).

*Tabelul 5.1*

*Metodele de bază de contrastare a organelor tubului digestiv*

<b>Metoda</b>	<b>Substanțe de contrast utilizate</b>	<b>Scopul</b>
În strat subțire (cantitate mică de substanță de contrast)	Radiopozitive (sulfat de bariu)	Vizualizarea reliefului mucoasei, pliurilor
Contrastare dublă	Radiopozitive (sulfat de bariu) + radionegative (aer)	Vizualizarea reliefului fin al mucoasei (de ex., ariilor gastrice). Depistarea formațiunilor vegetante
În repleție totală	Radiopozitive (sulfat de bariu)	Vizualizarea formei, poziției, dimensiunilor organului, peristaltismului

Prezența în compartimentele tubului digestiv a maselor alimentare, gazelor, excesului de lichid diminuează cu mult calitatea vizualizării și provoacă greșeli diagnostice, de aceea pentru investigația tubului digestiv cu substanță de contrast pacientul necesită pregătire specială, care diferă în funcție de ținta investigației și, corespunzător, de calea pe care se prevede introducerea contrastului.



**Figura 5.4.** Modalitățile de contrastare ale compartimentelor tubului digestiv: a) în strat subțire (esofag); b) în repleție totală (stomac); c) contrastare dublă (colon).

Pentru investigația esofagului, stomacului, intestinului subțire, pasajul de bariu, substanță de contrast se introduce peroral. Pacientul trebuie:

- Să se abțină de la folosirea alimentelor și lichidelor începând cu seara din ajunul zilei de investigație;
- Să se abțină de la fumat în aceeași perioadă de timp;
- Să se prezente pentru examen dimineața, pe nemâncate.
- Se recomandă timp de câteva zile înainte de investigație să renunțe la administrarea medicamentelor care pot modifica funcția organelor tubului digestiv.

Pentru investigația esofagului propriu-zis, pregătirea specială a pacientului nu este necesară, însă nu este corect de a se limita la investigația doar a esofagului fără a examina compartimentele adiacente ale tubului digestiv (stomacul, duodenul), chiar dacă patologia esofagului la pacient este deja cunoscută. Altfel există riscul nediagnosticării unor procese patologice.

Dacă scopul investigației este patologia colonului, substanța de contrast se introduce per rectum. Metoda de investigație se numește irigoscopie și irigografie. Ea rămâne a fi cea de elecție pentru diagnosticul cancerului de colon, al diferitor forme de colite etc. Pentru a depista cancerul de colon la stadii incipiente, când dimensiunile focarului patologic sunt mici, resturile maselor fecale și conținutul mucos trebuie să fie înlăturate din colon la maximum. Nefiind înlăturate, acestea pot masca simptomele patologice sau invers, pot da semne fals pozitive. Așadar, pregătirea minuțioasă a pacientului este indispensabilă. Aceasta include:

- Regim alimentar cu excluderea produselor gazogene timp de 2-3 zile înainte de investigație. Se exclud fructele, legumele, pâinea proaspătă, lactatele, dulciurile, băuturile gazoase. Se permit: ceaiul, cafeaua, sucurile, carnea și peștele negrase, ouăle, cașcavalul.

Respectarea doar a regimului alimentar nu este, însă, suficientă. Adăugător se face:

- Administrarea laxativelor cu o zi înainte de irigografie; de dorit, a acelor laxative, a căror acțiune dispare repede și nu provoacă dis-tonii (ulei de ricin, sulfat de magneziu). În ultimul timp se indică laxative pe bază de polietilenglicol, care nu se absorb din intestin și produc diareea prin mecanismul osmotic.
- Clisma de curățare seara în ajunul zilei de investigație.
- Dimineața în ziua investigației pacientul ia micul dejun.
- Apoi, cu 2-3 ore înainte de investigație, se efectuează a doua clisma de curățare.

Utilizarea agenților farmacologici este indicată în primul rând în cazurile în care este necesar diagnosticul diferențial între patologia organică și cea funcțională. Agenții farmacologici (atropină, prozerină, metacină etc.), în cazul dereglărilor funcționale, fiind introduși, vor modifica tonusul, peristaltismul, viteza de evacuare. Cu scopul de a accelera sau, invers, de a încetini pasajul bariului, substanța de contrast poate fi introdusă rece sau caldă.

În cazul tranzitului normal prin tubul digestiv, substanța de contrast introdusă peroral trece prin compartimentele acestuia peste anumite perioade de timp după ingerare (tabelul 5.2).

*Tabelul 5.2*

*Tranzitul normal al substanței de contrast prin tubul digestiv după introducere perorală*

<b>Compartimentul tubului digestiv</b>	<b>Începutul contrastării organului după introducerea perorală a substanței de contrast</b>	<b>Evacuarea completă a contrastului</b>
Esofag	Imediat	5-7 secunde
Stomac	Câteva secunde	2-3 ore; mai frecvent circa 1,5 ore
Duoden	30 secunde	30-60 secunde. Contrastul trece prin duoden repede, evacuarea lui pe porțiuni continuă pe parcursul evacuării substanței de contrast din stomac
Jejun	40 secunde	1,5-2 ore
Ileon	Circa 1,5 ore	3-4 ore
Colon	3-4 ore (trecerea ileocecală și cecum)	Contrastarea completă a tuturor compartimentelor colonului peste 18-24 de ore

*Tomografia computerizată* oferă posibilitatea de a studia compartimentele tubului digestiv din toate punctele de vedere, inclusiv lumenul, toate straturile peretelui și relațiile cu organele și spațiul din jur, inclusiv organele parenchimoase abdominale, ganglionii limfatici, peritoneul și spațiul retroperitoneal etc. Investigația se efectuează utilizând substanța de contrast radiopozitivă hidrosolubilă (iodată), care poate fi introdusă per os sau per rectum. Cu scopul evaluării vaselor mari și ramurilor lor care participă la aprovizionarea cu sânge a tubului digestiv (de ex., suspiciune de tromboză a arterei mezenterice), sau cu scopul evaluării vascularizării unor neoformațiuni în această regiune se efectuează tomografia computerizată în regim angiografic cu introducerea intravenoasă a agentului de contrast.

În unele situații patologice sunt utile metodele medicinei nucleare, care au o sensibilitate înaltă, de exemplu, în hemoragiile inferioare cu rata redusă a sângerării (jejunul, ileonul, colonul) sau în diagnosticul diverticulului Meckel.

#### **5.1.4. Anatomia radiologică normală a compartimentelor tubului digestiv**

Imaginea radiografică a organelor tubului digestiv, obținută prin investigație cu substanță de contrast, reprezintă, de fapt, imaginea cavității lor.

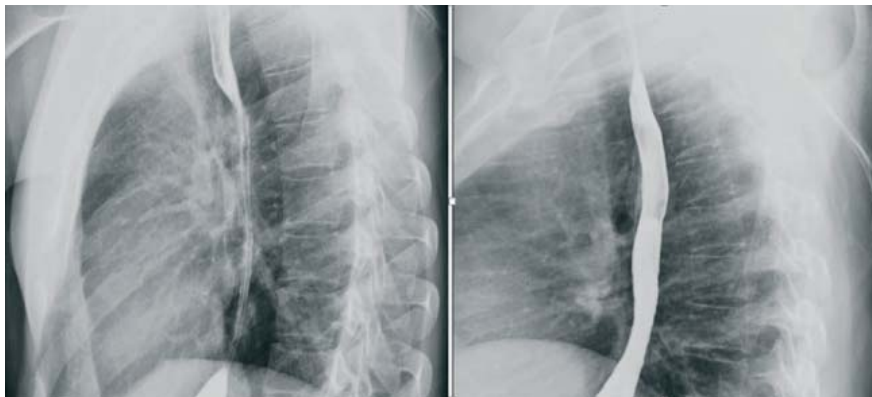
#### **Esofagul**

Pentru investigația radiografică a esofagului optimale sunt pozițiile oblice ale pacientului (oblică anterioară dreaptă, pacientul întors cu umărul drept 45° spre ecran, și oblică anterioară stângă, pacientul întors cu umărul stâng 45° spre ecran). În aceste poziții esofagul nu este acoperit de mediastin.

Din cavitatea bucală, masa baritată nimereste în faringe, care este situat până la nivelul CV – CVI. Lungimea medie totală a esofagului este de circa 25 cm. Porțiunea cervicală se proiectează la nivelul CVII – TI, porțiunea toracică – la nivelul TII – TX (se evidențiază partea superioară, medie și inferioară, care este în raport direct cu atriul stâng); urmează porțiunea diafragmatică și porțiunea abdominală, a cărei lungime este de circa 3-4 cm. Aceasta din urmă începe de la hiatusul diafragmatic, la nivelul TXI, și se implantează în stomac la nivelul cardiei, formând cu fornixul un unghi ascuțit (unghiul His), în limitele normale < 90°. În repleție totală esofagul se vizualizează ca o bandă opacă cu lățimea maximală de 2-3 cm și cu contur clar, bine delimitat. Contractiile care apar în porțiunea cranială și trec

progresiv spre partea caudală prezintă peristaltismul esofagian. Adaptarea calibrului esofagului la conținut este asigurată de *tonusul* lui. Evacuarea bolului de contrast din esofag este rapidă; imediat după trecerea lui lumenul se îngustează datorită elasticității pereților, din care cauză lățimea umbrei esofagului pe o imagine radiografică niciodată nu va apărea egală la toate nivelurile lui.

Pliurile mucoasei esofagiene sunt longitudinale, neîntrerupte, care se vizualizează mai bine în 2/3 inferioare, în număr de 2-4 (figura 5.5).



a) b)  
**Figura 5.5 (a, b).** Imaginea radiografică normală a esofagului.

Se evidențiază câteva îngustări fiziologice ale esofagului, din care cele de bază sunt:

- ✓ Faringo-esofagiană ("gura esofagului");
- ✓ Aortică – la nivelul crosei aortice (aproximativ la nivelul TIV);
- ✓ Bronșică – imediat după cea precedentă, în raport cu bronhia principală stângă imediat după nivelul bifurcației de trahee;
- ✓ Diafragmatică (îngustarea supracardială care corespunde hiatusului diafragmatic, aproximativ la nivelul TX).

## Stomacul

Stomacul este situat în regiunea epigastrică, în mod normal, distanța de la diafragmă până la fornix este de  $\leq 1$  cm. Organul are lungimea medie de circa 25 cm și volumul de 1200-1500 ml. Pot fi evidențiate porțiunile: verticală și orizontală; fețele: ventrală și dorsală; curburile: mare și mică; pilorul cu lungimea de 1-3 cm și diametrul de circa 1 cm. Radiografic putem dis-

tinge regiunea cardiei, fornixul, corpul gastric, sinusul gastric, regiunea antrală. Figura 5.6 amintește elementele principale anatomice ale stomacului.

Punctul cel mai cranial al stomacului se află sub hemidiafragul stâng, punctul cel mai caudal (polul inferior) în limitele normale trebuie să se proiecteze cu 3-4 cm deasupra crestei iliace. Forma și poziția stomacului pot varia și depind de tipul constituțional. La astenici el este alungit, are forma literei J sau a undiței; la hiperstenici, obezi este orizontalizat și are formă de corn de taur (figura 5.7).

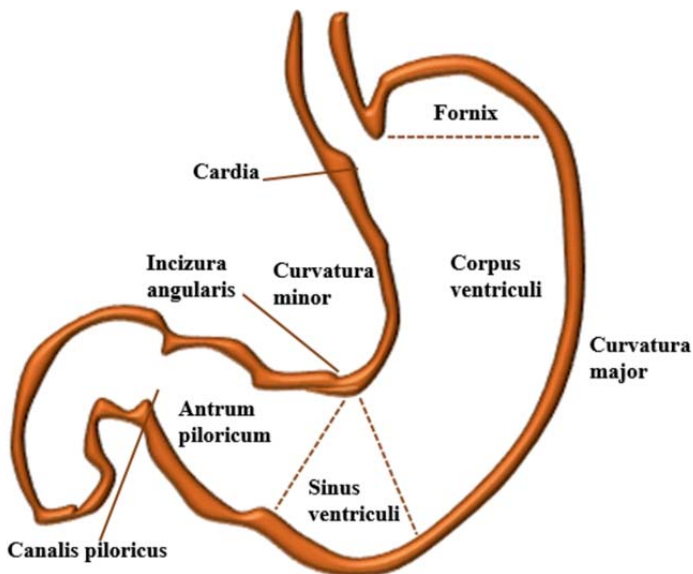


Figura 5.6. Elementele anatomice principale ale stomacului.

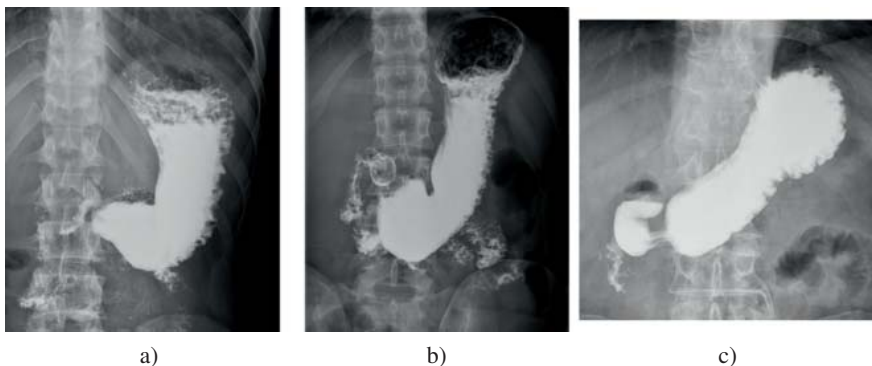


Figura 5.7. Forma și poziția stomacului la diferite tipuri constituționale: a) normostenic, b) astenic, c) hiperstenic.

Pliurile mucoasei în stomac sunt longitudinale, ceea ce se vede cel mai evident pe curbura mică, unde pliurile reprezintă continuarea celor esofagiene; în regiunea curburii mari pliurile trec de la suprafața anterioară spre cea posterioară, din care cauză conturul gastric în regiunea curburii mari radiografic poate avea un aspect neregulat, policiclic.

Tonusul gastric contribuie la determinarea formei organului, modulul său de umplere și la controlul tranzitului piloro-duodenal.

Peristaltismul gastric depinde de:

- Starea de tonus al peretelui gastric și
- Starea sistemului nervos vegetativ (simpatic și parasimpatic).

Peristaltismul ia naștere pe ambele curburi la nivelul regiunii inferioare a fornixului sau în 1/3 medie a corpului, uneori din regiunea sinusului gastric. În mod normal, undele peristaltice pot fi caracterizate prin:

- Amplitudine: 3-4 mm pe curbura mică și 5-10 mm pe cea mare;
- Frecvență: 2-4 unde/min.;
- Durata unde: 18-35 secunde;
- Lungime.

Pe o imagine radiografică a stomacului, în mod normal pot fi observate, sub formă de îngustări, 2-3 unde peristaltice.

Secreția gastrică formează un strat de o densitate (opacitate) intermediară între cea a suspensiei baritate și a zonei transparente ce corespunde bulei de aer în fornix, care cel mai bine poate fi observat pe o imagine radiografică a stomacului, efectuată în repleție totală și în poziția verticală a pacientului.

## **Intestinul subțire**

Intestinul subțire include duodenul, jejunul și ileonul.

### **Duodenul**

Prima porțiune a duodenului este bulbul. Fiind normoton, el apare radiografic de o formă aproximativ triunghiulară, cu bază spre pilor (D1). Cu excepția bulbului, duodenul este segmentul fix. El formează 3 flexiuni, cuprinde, în afară de bulb, partea descendentă (D2), precedată de flexura duodenală superioară, sau genunchiul superior, și urmată de flexura duodenală inferioară, sau genunchiul inferior (nivelul LIV). În continuare, poate fi evidențiată partea inferioară orizontală (D3) și partea ascendentă



(D4). Flexura duodenojejunală sau unghiul Treitz marchează trecerea din duoden în jejun (figura 5.8).

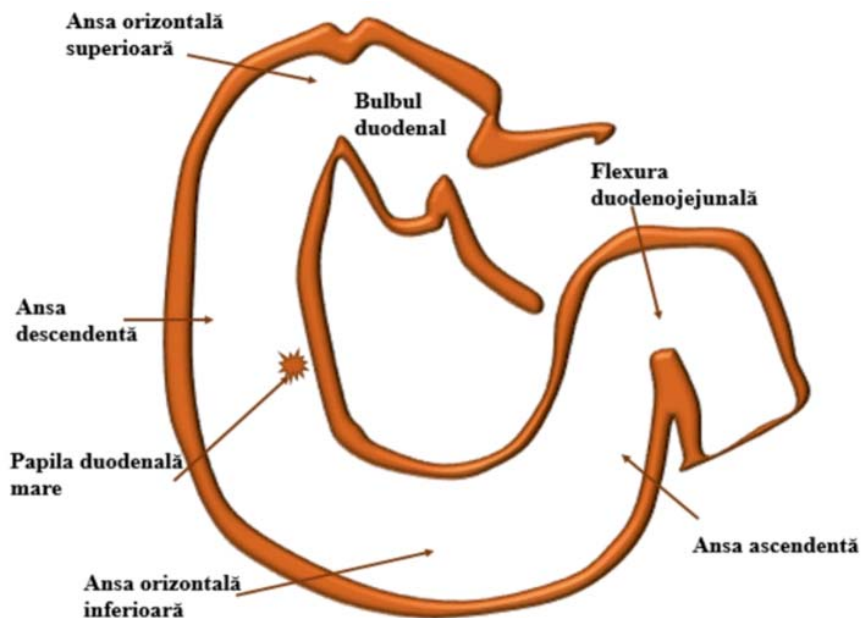
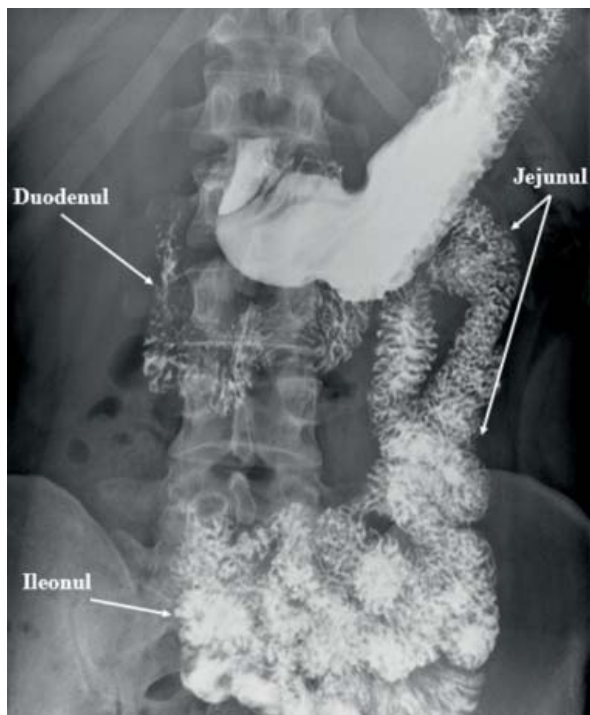


Figura 5.8. Părțile componente ale duodenului.

Pliurile mucoasei sunt longitudinale la nivelul bulbului și transversale în restul duodenului.

### Jejunul și ileonul

Nu este posibil de a stabili limita exactă unde se termină jejunul și începe ileonul, dar diferențierea lor aproximativă radiografică este posibilă. Jejunul este situat mai superior și mai mult în flancul stâng al abdomenului, lățimea anselor este de 2-3 cm, pliurile sunt bine evidențiate și au aspect de ”pană de puf”. Ileonul este situat preponderent central și mai inferior, este puțin mai îngust (1-2 cm), pliurile sunt mai puțin pronunțate (figura 5.9).



**Figura 5.9.** Bariu în pasaj. Pe radiografie se vizualizează contrastat stomacul și toate compartimentele intestinului subțire cu pliurile caracteristice lor.

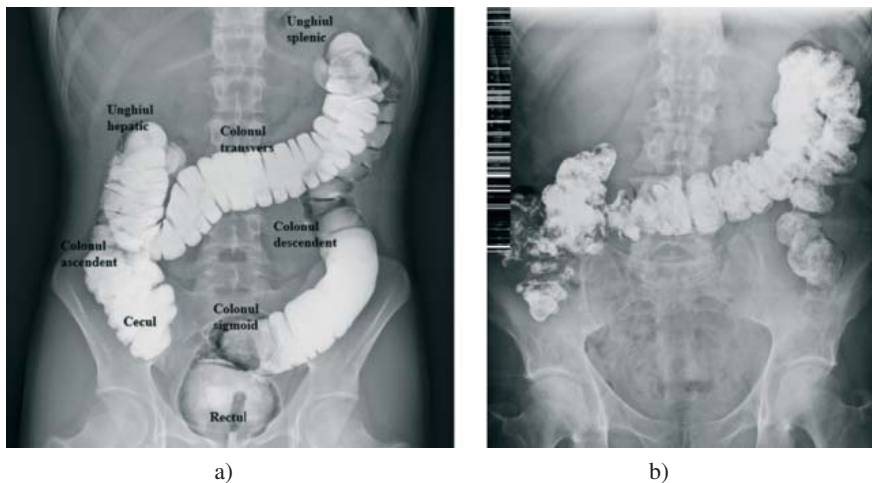
## Colonul

Investigația radiografică a colonului permite evidențierea tuturor părților componente ale acestuia. Se evidențiază haustrația, ca o serie de diviziuni circulare, mai mult sau mai puțin profunde, care vizual divizează lumenul colonului în segmente. Pot fi evidențiate și taenia coli (figura 5.10).

Contrastarea colonului poate fi obținută prin două căi. În caz de administrare orală a substanței de contrast, segmentele colonului vor fi opacificate prin pasajul natural al masei baritate, în caz de funcționare normală:

- Cecul – aproximativ la 3-4 ore după ingerarea contrastului;
- Unghiul hepatic – la 7-8 ore;
- Unghiul splenic – la 12 ore;
- Colonul sigmoid – la 16 ore;
- Ampula rectală – la 24 de ore.

Contrastarea perorală permite evaluarea funcției intestinului, în primul rând, a tranzitului și a tonusului, însă, în caz de suspiciune a unei patologii a colonului, nu permite o calitate a vizualizării suficientă pentru a stabili diagnosticul. În acest scop este necesară irigoscopia și irigografia, cu introducerea substanței de contrast per rectum. În ultimul timp se practică contrastarea primară dublă, când, după introducerea substanței baritate, se efectuează insuflarea de aer. Investigația colonului se efectuează în poziții variabile ale pacientului, pentru a vizualiza toate părțile intestinului.



**Figura 5.10.** a) Irigografia. Colonul normal; b) bariu în pasaj. Contrastarea colonului.

Aspectele principale ale anatomiei radiologice normale a compartimentelor tubului digestiv sunt prezentate în tabelul 5.3.

Anatomia radiologică normală a organelor tubului digestiv

Organul	Localizarea	Pluriile	Unele dimensiuni	Unele particularități
<b>Esofag</b>	Mediastinul posterior	Longitudinale	Lățimea maximală până la 2-3 cm	Îngustările fiziologice de bază: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faringo-esofagiană (nivelul vertebrei a VI-a cervicale)</li> <li>• La nivelul arcului aortic</li> <li>• La nivelul bifurcației traheei</li> <li>• Diafragmală</li> </ul>
<b>Stomac</b>	Partea superioară stângă a cavității abdominale	Longitudinale în regiunea curburii mici; pe curbura mare au direcția oblică și pot forma un contur zimțat		
<b>Duoden</b>	După stomac, caudal față de regiunea pilorică	Longitudinale în bulbul duodenal, transversale în alte porțiuni	Lungimea ≈ 24 cm	Segmentul fix (în afară de bulb). Formează cu jejunul unghiul Treitz
<b>Jejun</b>	Preponderent partea stângă a cavității abdominale, superior	Transversale („pană de puț”), pronunțate	Lungimea totală 2-3 m pe viu; pe cadavru circa 6 m	
<b>Ileon</b>	Preponderent central, în bazinul mic	Transversale („pană de puț”), mai puțin pronunțate, puțin vizibile în regiunile distale		
<b>Colon</b>	Regiunile periferice ale cavității abdominale			Se vizualizează haustra coli, uneori taenia coli

## 5.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ ÎN PATOLOGIA TUBULUI DIGESTIV

### 5.2.1. Modificările funcționale ale organelor tubului digestiv

Variantele modificărilor funcționale ale organelor tubului digestiv sunt prezentate în tabelul 5.4. După cum reiese din caracteristica modificărilor, acestea pot dispărea după înlăturarea cauzei, cu restabilirea funcției normale a organului. Probele funcționale și agenții farmacologici contribuie la diferențierea acestor modificări de cele organice.

*Tabelul 5.4*

*Modificările funcționale ale organelor tubului digestiv*

<b>Modificare</b>	<b>Semne radiologice</b>	<b>Notă</b>
<b>Modificări de tonus (distonii)</b>	Tonusul influențează forma organului, volumul lui, umplerea, evacuarea	
Hipertonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducerea calibrului segmentului afectat</li> <li>• Scurtarea segmentului</li> <li>• Îngroșarea pliurilor</li> <li>• Evacuarea accelerată</li> <li>• Distensia segmentului imediat subiacent</li> </ul>	
Hipotonia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mărirea calibrului segmentului afectat</li> <li>• Diminuarea mișcărilor peristaltice</li> <li>• Aplatizarea pliurilor</li> <li>• Umplerea incompletă</li> <li>• Evacuarea întârziată</li> </ul>	
Atonia	Reprezintă gradul cel mai pronunțat al hipotoniei <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alungirea segmentului</li> <li>• Dilatarea segmentului</li> <li>• Pliurile șterse</li> <li>• Întârzierea evacuării. Este posibilă dispariția evacuării</li> </ul>	Modificările sunt de obicei persistente. Substanța de contrast apare diluată de lichid de stază.
Spasm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Îngustare axială a segmentului afectat</li> <li>• De obicei pe o porțiune scurtă</li> <li>• Contururi nete și regulate</li> <li>• Poate fi „în pâlnie”</li> <li>• Diminuează sau dispare la administrarea agenților miorelaxanți</li> </ul>	Spasmul este rezultatul contractării unui sfincter (spasm local) sau a fibrelor musculare circulare dintr-o porțiune a tubului digestiv (spasm segmentar).  La momentul instalării spasmului tranzitul prin locul afectat se întrerupe și se restabilește în perioada de relaxare.

<b>Modificări de peristaltism</b>		
Hiperchinezie (hiperperistaltism)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mărirea frecvenței undelor peristaltice</li> <li>• Mărirea amplitudinii undelor peristaltice</li> <li>• Mărirea vitezei de propagare a undelor peristaltice</li> </ul>	Se poate asocia cu hipertonie. De obicei, are loc și accelerarea evacuării.
Hipochinezie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminuarea frecvenței undelor peristaltice</li> <li>• Diminuarea amplitudinii undelor peristaltice</li> <li>• Diminuarea vitezei de propagare a undelor peristaltice</li> </ul>	Determină apariția hipotoniei.
Achinezie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absența undelor peristaltice</li> <li>• Porțiunea afectată este destinsă (atonie)</li> </ul>	Epuizare totală a capacității de contracție musculară la nivelul segmentului afectat.
<b>Modificări de secreție</b>		Radiologic se observă la nivelul stomacului.
Hipersecreție	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mărirea stratului de secret gastric</li> <li>• Hipersecreția intestinală poate fi suspectată în cazul opacifierii neomogene a lumenului cu ștergerea reliefului mucoasei</li> </ul>	În limitele normale, la investigație în ortostatism în stomac se depistează o bandă de grosime ≈ 1 cm între aer din fornix și substanța baritată.
Hiposecreție		
<b>Modificări de tranzit</b>		Pentru a le depista, se apreciază timpul de evacuare.
Accelerare	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micșorarea timpului de evacuare</li> <li>• Hiperchinezia segmentului afectat</li> </ul>	
Încetinire	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mărirea timpului de evacuare</li> <li>• Pot fi depistate semne de stenoză, hipo- și atonie</li> <li>• Resturi alimentare în lumenul segmentului afectat</li> </ul>	

## 5.2.2. Modificările morfologice ale organelor tubului digestiv

La nivelul tubului digestiv radiologic pot fi depistate diferite modificări morfologice (tabelul 5.5).

Tabelul 5.5

*Modificările morfologice ale organelor tubului digestiv*

<b>Modificări de poziție</b> (segmentul poate să nu fie afectat dimensional)	Ptoza	
	Ascensiunea (inclusiv herniile) ✓ Pentru a depista o hernie poate fi necesară schimbarea poziției pacientului, de ex., în decubit sau în poziția Trendelenburg	
	Împingerea (deplasarea) ✓ Poate fi asociată cu amprenta	
	Torsiunile (volvulus) ✓ Reprezintă deplasarea organului (segmentului) în jurul axului său	
	Tracționarea	
<b>Modificări de mobilitate</b>	Apariția mobilității la segmente normale fixe	
	Diminuarea mobilității la organele în mod obișnuit mobile	
<b>Modificări de dimensiuni</b>	Lungimea	Dolihosegmente
		Brahisegmente
	Lățimea	Megasegmente
		Stenoza ✓ Fiind depistată, necesită diagnosticul diferențial între stenoza benignă și cea malignă
Modificări de calibru	Modificările de lungime și de lățime se pot asocia	
<b>Modificări de contur</b>	Prin minus de umplere	Lacuna
		Ancoșa ✓ Denivelare reactivă rotundă ✓ De obicei pe un singur contur ✓ Traduce procese restrictive, fibroase
		Incizura ✓ Denivelare reactivă cu unghiul ascuțit
		Amputația
		Amprenta ✓ Este cauzată de organe sau procese patologice din vecinătate

		Rigiditatea ✓ Semnul de infiltrație inflamatorie sau neoplazică a peretelui tubului digestiv ✓ Mișcările peristaltice la acest nivel nu se observă ✓ Vizual poate fi aspect de „scândură pe valuri”
	Prin plus de umplere	Nișa Diverticul Spiculii ✓ Defecte ale mucoasei mici ( $\approx 1-2$ mm), de formă triunghiulară, de obicei de origine inflamatorie – ulceratii superficiale
<b>Modificări de formă</b>		
<b>Modificări de relief</b>	Dimensiunile pliurilor	Hipertrofia
		Atrofia
	Anomalii de orientare ale pliurilor	Devierea
		Convergența
		Înteruperea
		✓ Faptul întreruperii sau neîntreruperii pliurilor mucoasei este un semn diagnostic important în diferențierea între procese benigne și maligne
Dezorganizarea		
Haloul		

Modificările de dimensiuni nu rareori pot fi asociate cu modificările de contur, care, la rândul lor, pot fi localizate sau difuze. Semnele utile pentru diagnosticul diferențial între stenoza benignă și malignă ale compartimentelor tubului digestiv sunt indicate în tabelul 5.6.

Tabelul 5.6

Diagnosticul diferențial al stenozelor tubului digestiv

Caracteristica	Stenoza benignă	Stenoza malignă
Lungimea	Mare	Mică (scurtă)
Numărul	Unice sau multiple	Unice
Transversal	Axial	Asimetric
Modificarea de calibru se instalează:	Progresiv	Brusc
Pliurile	Nu se întrerup	Înteruperea, dezorganizarea
Alte semne posibile		Rigiditate



### 5.2.3. Modificările patologice caracteristice diferitor compartimente ale tubului digestiv

Modificările patologice morfologice ale segmentelor tubului digestiv cel mai frecvent pot fi caracterizate prin modificări de contur: plus de umplere (ceva ce depășește conturul normal al cavității organului) sau minus de umplere (ceva ce diminuează cavitatea organului, fiind cauzat de patologia organului însuși sau a structurilor din vecinătate).

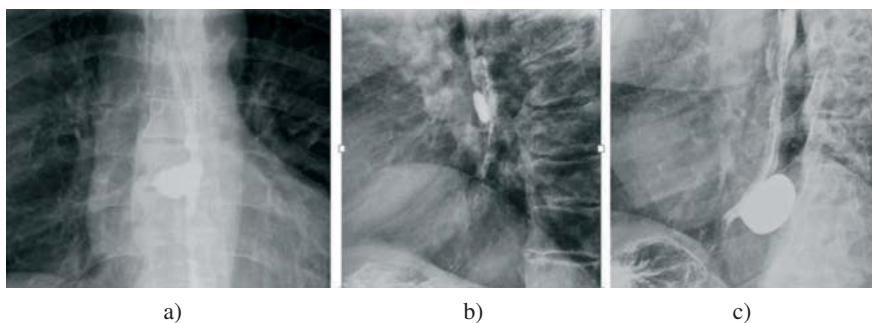
#### Esofagul

Modificările patologice de contur pot fi locale și difuze.

Defecte de contur locale prin plus de umplere: *diverticul, nișa.*

*Diverticulul* reprezintă proeminența (angajarea) circumscrisă, saciformă a straturilor peretelui esofagian (de obicei, mucoasa și submucoasa proeminează prin defecte ale structurii tunicii musculare). Pliurile mucoasei pătrund în diverticul, nefiind întrerupte. Diverticuli pot fi congenitali și dobândiți. După mecanismul de producere, se evidențiază diverticuli de tracțiune (aparitia acestora este declanșată de procese paraesofagiene ca adenopatii, aderențe etc.) și diverticuli de pulsivitate (în formă de con, de "pâlnie"); în timp pot să devină micști. Ambele tipuri sunt caracteristice esofagului. Diverticuli de pulsivitate în stadii incipiente pot fi diagnosticați doar prin radioscopie în timpul contracției esofagului legate de trecerea bolului alimentar.

Radiografic se formează o imagine adițională (prin plus de umplere) de dimensiuni variabile, de la mici la gigantice, cu contur clar, regulat (figura 5.11). În cazul diverticulelor mai mari și în stadii avansate în diverticul poate să fie depistat nivelul hidro-aeric.



**Figura 5.11.** Radiografia ținută a esofagului cu substanța de contrast. Diverticuli esofagieni.

Diverticulul format la nivelul feței posterioare a joncțiunii faringo-esofagiene poartă denumirea de *diverticul Zenker* (figura 5.12). Este diverticul congenital.

Modificări de tonus și/sau de peristaltism la nivelul segmentului tubului digestiv unde se depistează diverticulul de obicei nu se constată.



**Figura 5.12.** Diverticulul cervical (Zenker).

*Nișa* la nivelul esofagului reprezintă semnul ulcerăției esofagiene (cauzate cel mai frecvent de esofagita peptică în reflux gastro-esofagian). Este dificilă de evidențiat, poate să necesite mai multe investigații cu contrastare în strat subțire, în diferite poziții ale pacientului.

#### Defecte de contur prin minus de umplere.

La nivelul esofagului se pot întâlni toate tipurile de ”minus de umplere”, cel mai frecvent poate fi depistată *lacuna*, care radiografic apare ca o zonă transparentă, formând un defect direct pe contur sau pe fundalul lumenului organului ce conține substanță de contrast radioopacă.

*Lacunele* la nivelul esofagului pot fi cauzate de:

- Modificări funcționale: spasm. Unul din cele mai reprezentative cazuri este ”esofag în formă de tirbușon”, care reflectă spasme etajate (figura 5.13).
- Modificări organice (figura 5.13, 5.14):
  - ✓ Formațiuni de volum benigne și maligne
  - ✓ Consecințe de arsură chimică
  - ✓ Varice esofagiene.



a)



b)

**Figura 5.13.** a) spasme etajate ("esofag în formă de tirbușon"); b) stenoza organică severă (starea aproape de semnul radiologic de amputație, lumenul restant al esofagului este foarte îngust).



a)

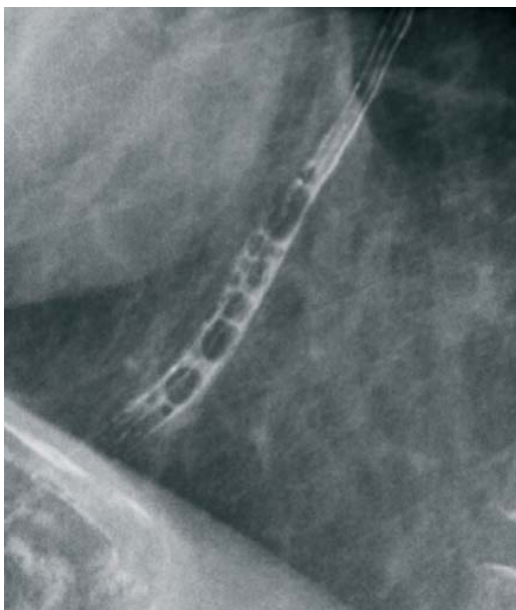


b)

**Figura 5.14.** Tumoarea malignă a esofagului cu localizarea în treimea medie. Lacuna pe fundalul esofagului contrastat în proiecția de față (a) și direct pe contur (b), cu contur neregulat și cu îngustarea asimetrică a lumenului.

În caz de consecințe ale combustiei caustice radiografic se vor depista lacune cu dezorganizarea pliurilor cu localizarea preponderentă în regiunea îngustărilor fiziologice. Diagnosticul diferențial pur radiografic cu un proces tumoral malign al esofagului poate fi dificil; cunoașterea antecedentelor fiind indispensabilă.

Varicele esofagiene radiografic se prezintă ca lacune rotunde sau ovale multiple cu contur net situate mai mult în porțiunea distală a esofagului, putând fi observate atât pe conturul esofagului, cât și în lumen (figura 5.15).



**Figura 5.15.** Varice esofagiene.

Semnul radiologic de *amputație* la nivelul esofagului poate fi depistat în cazul anomaliilor congenitale (atrezia esofagului; poate fi asociat cu diferite tipuri de fistule) sau în patologie dobândită – proces cicatricial, care a dus la dereglarea completă a permeabilității (după arsuri caustice sau în stadii avansate de esofagită cauzată de reflux gastro-esofagian).

*Acalazia cardiaci* reprezintă incapacitatea cardiaci să se relaxeze, de origine insuficient cunoscută; cauza cea mai probabilă – degenerescența plexurilor nervoase care comandă fibrele musculare în regiunea inferioară a peretelui esofagian (la pacienții cu acalazie este o zonă aganglionară). Pacientul poate să acuze disfagie, disconfort în regiunea cutiei toracice retrosternal, regurgitarea alimentelor, scăderea greutatei corporale. Investigația radiografică a esofagului cu substanța de contrast pune în evidență un esofag extrem de dilatat, uneori gigantic, alungit, ondulat, care se termină orb, în formă de pâlnie, cu o subțiere la nivel distal ("coadă de șoarece"). Bula de aer din stomac lipsește, substanța de contrast se stochează în eso-

fag, care conține și resturi alimentare (figura 5.16). Alimentele ingerate pot să nimerească în stomac prin ”prăbușire”, după ce presiunea stâlpului de conținut în esofag depășește o limită anumită. Tabloul radiografic de dilatare excesivă a esofagului poate fi întâlnit și în cazul cardiospasmului; atunci bula de aer în stomac este de obicei prezentă.



**Figura 5.16.** Acalazia cardiei. Dilatarea excesivă a esofagului. Lipsa bulei de aer în stomac.

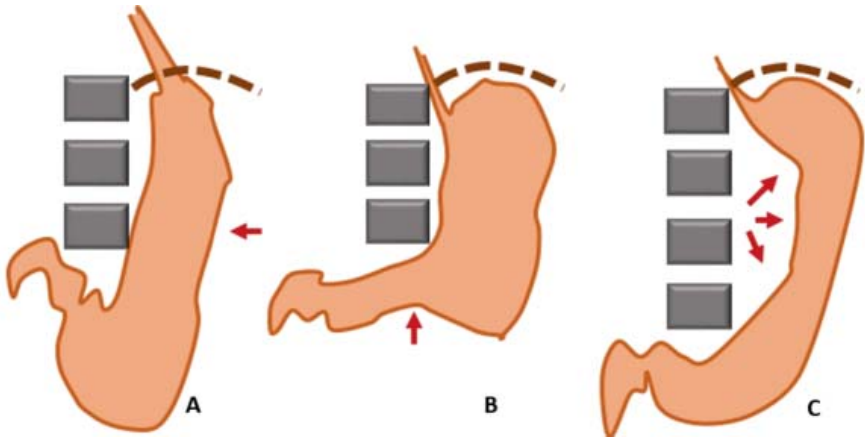
## Stomacul

Pentru o evaluare completă, investigația radiografică a stomacului se efectuează cu contrastare în strat subțire, în semirepleție, în repleție totală, prin contrastare dublă; în diferite poziții ale pacientului: la început în ortostatism, apoi în decubitul dorsal și ventral; în diferite proiecții: de față, oblică anterioară dreaptă și stângă, laterală.

Forma și poziția organului pot fi modificate secundar patologiei organelor din vecinătate (figura 5.17).

Defecte de contur prin plus de umplere: diverticul, nișa.

*Diverticuli* la nivelul stomacului se întâlnesc cu mult mai rar decât cei esofagieni și ”preferă” practic exclusiv localizarea în porțiunea superioară, precordial (figura 5.18).



**Figura 5.17.** Modificarea formei și poziției stomacului în caz de: A – splenomegalie; B – formațiune de volum a pancreasului; C – hepatomegalie.



**Figura 5.18.** Diverticul gastric.

*Nișa* se întâlnește mai frecvent, reprezentând semnul radiografic direct caracteristic ulcerului, în special celui gastric. Tabloul radiografic cunoscut ca nișa reprezintă îndeplinirea de către substanța de contrast a unui defect de țesut în peretele organului, format ca rezultat al ulcerăției (figura 5.19). Are baza mai lată decât partea distală. Silueta clasică apare în cazul în care

ulcerul este situat pe conturul organului în proiecția dată, ”în profil”, dar se poate întâlni și situat în fața completă, atunci este vorba despre ”nișa pe relief”. Nișa poate fi benignă, cauzată de ulcer gastric, și malignă, în tumori maligne ale stomacului, dacă s-a produs ulcerarea țesutului tumoral.



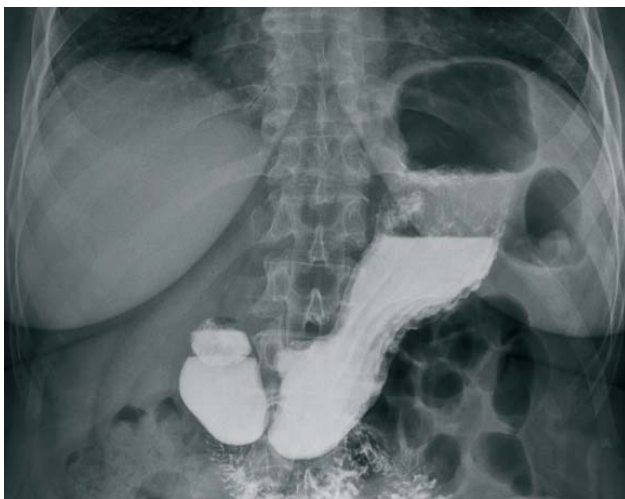
**Figura 5.19.** Radiografia stomacului cu substanță de contrast. Ulcer gastric. Nișa cu localizare pe curbura mică.

În cazul ulcerului penetrant semnele radiografice caracteristice sunt dimensiunile mari și aspectul fixat al nișei.

În cazul suspiciunii de perforare a ulcerului investigația cu sulfat de bariu nu se efectuează.

Semnele morfologice ale ulcerului sunt asociate cu cele funcționale, indirecte, ca hipersecreție, spasm local, hiperchinezie locală, dereglări de evacuare. Semnul indirect morfologic în cazul ulcerului cronic este îngustarea lumenului și dereglarea permeabilității în urma procesului cicatricial. Semnele indirecte sunt importante pentru diagnosticul diferențial, stadializarea procesului, uneori și pentru diagnosticul pozitiv, fiind depistate primele (de ex., ulcere de dimensiuni mici) și merită atenție. De exemplu, spasmul regional, care se produce la nivelul ulcerului, iar pe peretele contralateral, radiografic se manifestă prin simptomul ”degetului arătător”.

Modificările funcționale se pot întâlni și în cazul patologiilor inflamatorii ale stomacului sau duodenului, care nu au adus încă la destrucție de țesut. Așadar, în cazul hipersecreției mucoasei poate fi depistat simptomul radiografic de "trei niveluri" (figura 5.20).



**Figura 5.20.** Simptom de "trei niveluri" (aer – secretul mucoasei – substanța de contrast).

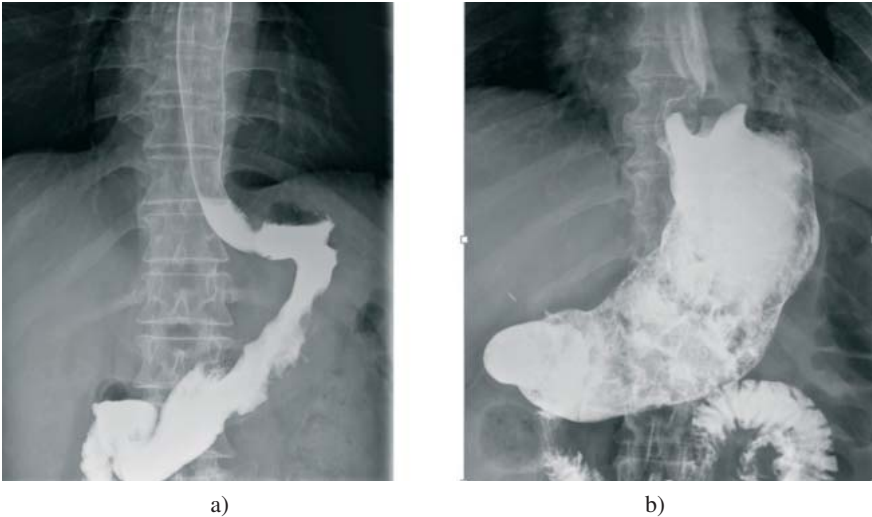
#### Defecte de contur prin minus de umplere.

Semnul radiografic de *lacună* la nivelul stomacului apare în cazul formațiunilor de volum care cresc în lumenul organului. Acestea pot fi benigne sau maligne și se pot proiecta pe contur sau pe fața imaginii, în funcție de proiecția utilizată. Cele benigne pot fi unice sau multiple și, de regulă, se caracterizează printr-un contur regulat, pliurile mucoasei nu sunt întrerupte.

Lacunele maligne, de asemenea, pot fi unice sau multiple, situate în orice regiune, de dimensiuni variabile (figura 5.21). Ele se caracterizează prin:

- ✓ Contur neregulat;
- ✓ Întreruperea, dezorganizarea, infiltrația pliurilor;
- ✓ Pot prezenta ulcerare centrală ("nișa în lacună").





**Figura 5.21.** Radiografia stomacului în repleție totală. Lacunele maligne cu localizare: a) în regiunea corpului gastric (la radioscopie a fost depistat și semnul de rigiditate); b) în regiunea fornixului.

### **Intestinul subțire**

Pentru evaluarea intestinului subțire substanța de contrast poate fi introdusă atât peroral, cât și direct spre intestin prin sonda duodenală.

La nivelul **duodenului** mai frecvent pot fi depistate defecte de contur prin plus de umplere: nișa în cazul ulcerului duodenal, localizată cel mai frecvent la nivelul bulbului cu toate semnele ei caracteristice. Pot fi depistați și diverticuli duodenali (figura 5.22).

Pentru intestinul subțire sunt caracteristici diverticuli Meckel, care nu sunt diverticuli ”clasici” descriși mai sus, ci reprezintă o reminiscență a ductului embrionar omfalomezenteric, localizat de obicei proximal de valva ileo-cecală. Poate conține mucoasa gastrică ectopică, a cărei prezență clinic cel mai des se manifestă prin sângerare. Metodele medicinei nucleare pot fi utile în diagnosticarea acestei patologii.



**Figura 5.22.** Diverticul duodenal.

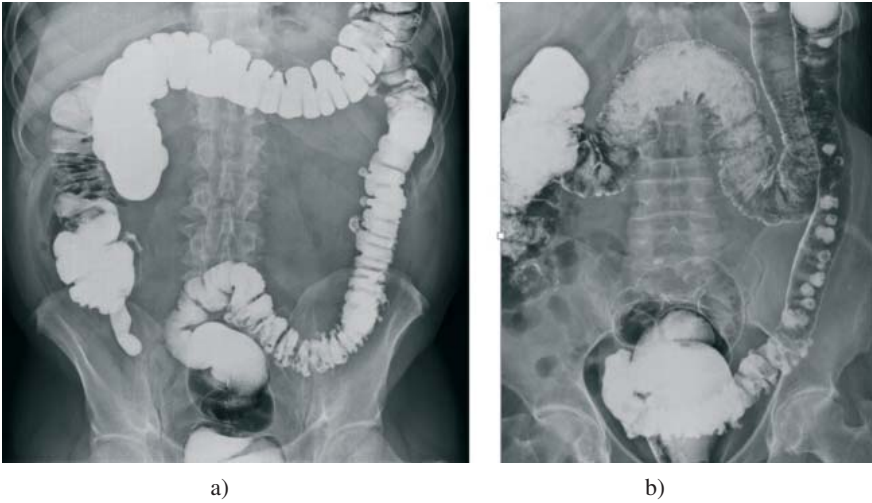
## **Colonul**

### Defecte de contur

Din defecte de contur prin plus de umplere, diverticuli la nivelul colonului se întâlnesc destul de frecvent. Pot fi multipli, sub formă de diverticuloză (figura 5.23).

La nivelul colonului pot fi depistate și semne caracteristice formațiilor de volum benigne sau maligne. Formațiuni benigne sau polipi intestinali la nivelul colonului se depistează rar. La nivelul colonului sigmoid și al rectului poate fi depistată polipoza multiplă, familială. Polipii, fiind benigni, reprezintă o stare precanceroasă și riscă să se malignizeze.

În cancerul de colon se deosebesc câteva forme clinice și anatomo-patologice: infiltrativă, vegetantă și ulcerantă. Radiografic se depistează lacune care au semne caracteristice unei lacune maligne. Unul din semnele radiografice caracteristice cancerului de colon este semnul unui ”ciot de măr” (figura 5.24).



**Figura 5.23.** Irigografia. Diverticuli de colon: a) cu localizare pe contur; b) cu localizare în plan frontal față de investigator.



**Figura 5.24.** Irigografia. Cancer de rect. Semnul "ciotului de măr".

În cadrul proceselor inflamatorii ale intestinului gros se observă diminuarea sau chiar dispariția haustrației; în dependență de forma colitei, conturul intestinului poate să devină neregulat, zimțat, în lumen pot fi evidențiate colecții mici de substanță baritată, localizate în fisuri și ulcerații. În stadii incipiente intestinul poate să se prezinte dilatat; în stadii avansate lumenul intestinului se îngustează, uneori pronunțat, pe o distanță variabilă

de la 1-2 cm la 20-25 cm și poate avea un aspect de canal lung, subțire, de o lățime neuniformă (figura 5.25).



**Figura 5.25.** Irigografia. Semne radiografice de colită (diferiți pacienți).

## VI. IMAGISTICA SISTEMULUI HEPATO-BILIAR

### 6.1. EVALUAREA IMAGISTICĂ A VEZICII BILIARE ȘI A CĂILOR BILIARE

Pentru explorarea sistemului biliar se folosesc metode din toate ramurile imagisticii medicale. Pe primul plan stă de obicei investigația ultrasonografică și cea radiologică.

Figura 6.1 amintește despre anatomia colecistului și a căilor biliare.

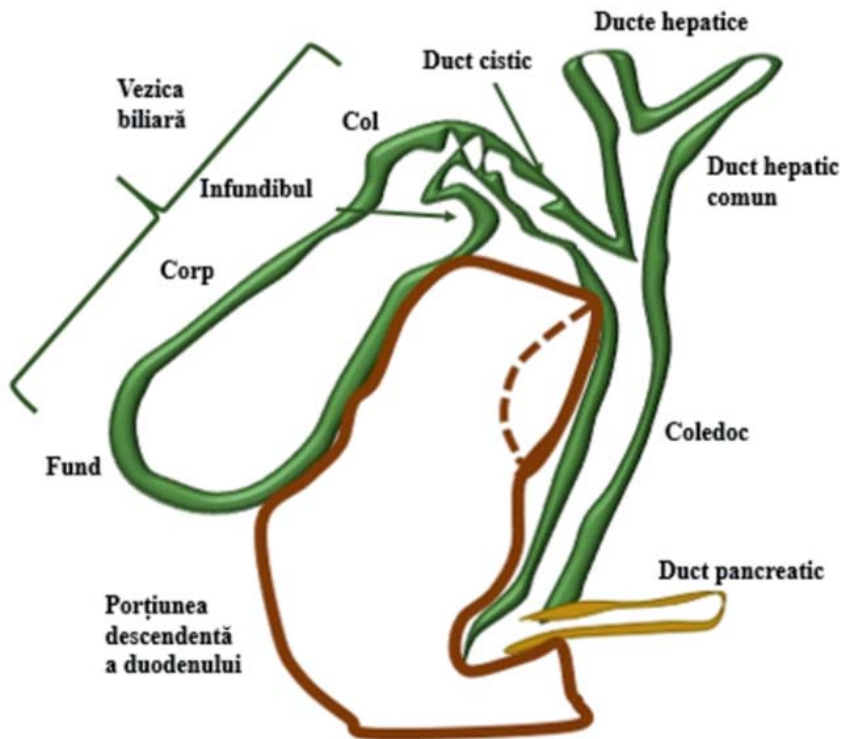


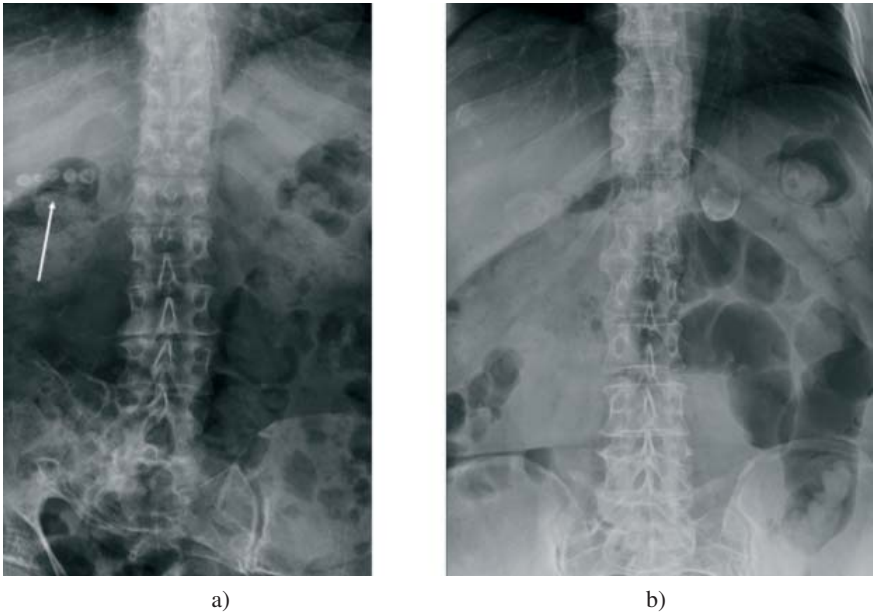
Figura 6.1. Anatomia schematică a colecistului și a căilor biliare principale.

### 6.1.1. Investigația radiologică a sistemului biliar

Investigația radiografică se folosește pe larg în evaluarea sistemului biliar. *Radiografia abdominală pe gol* ca metodă izolată, de obicei, nu se indică în suspiciune de patologie a sistemului biliar. Ea poate fi informativă doar în cazurile:

- calculilor radioopaci în vezica biliară și/sau căile biliare (figura 6.2);
- calcifierii pereților vezicii biliare (vezica biliară "în porțelan");
- aerobiliei.

Pentru evaluarea vezicii biliare și a arborelui biliar sunt elaborate numeroase *metode radiologice cu utilizarea agenților de contrast*, care diferă prin calea de introducere a contrastului și prin scopul investigației. Caracteristica succintă a acestor metode este prezentată în tabelul 6.1.



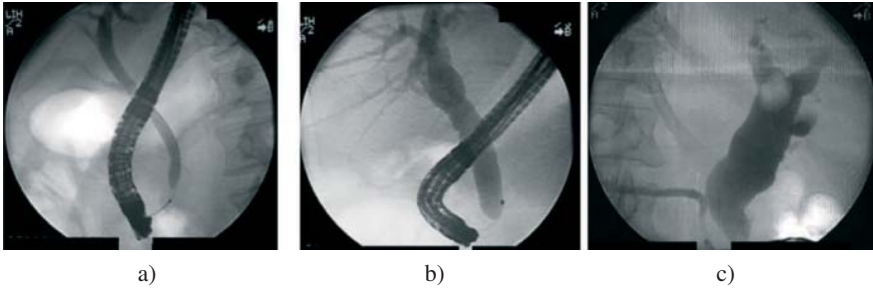
**Figura 6.2.** a) calculi radioopaci multipli în vezica biliară (descoperiți întâmplător la o radiografie, indicată pentru evaluarea coloanei vertebrale); b) chisturile hidatice ale ficatului cu pereți calcificați.

## Metode radiologice de investigație a arborelui biliar

Metoda de contrastare	Calea de introducere a substanței de contrast	Structurile vizualizate
Fără contrast (radiografia abdominală pe gol)		Calculi radiopozitivi în vezica biliară și ducturile biliare, calcifieri ale pereților, aer în căile biliare
Colecistografia perorală	Per os	Vezica biliară
Colecistocolangiografia intravenoasă	Intravenos	Vezica biliară, căile biliare
Colangiopancreatografie retrogradă endoscopică	Prin cateter care se introduce în coledoc prin sfincter Oddi, fiind introdus în duoden au ajutorul unei sonde endoscopice (figura 6.3)	Arborele biliar, ductul pancreatic
Colangiografia transhepatică percutană	În ducturile biliare prin puncția percutană a ficatului	Căile biliare, uneori vezica biliară
Colangiografia intraoperatorie și postoperatorie	Prin cateter (tub T Kehr) plasat în ductul cistic, intraoperator (de regulă, în timpul colecistectomiei). Investigația se efectuează în timpul operației sau în perioada postoperatorie (figura 6.4)	Căile biliare, cu scopul evidențierii calculilor restanți în căile biliare

Colecistografia perorală indicată în tabel ține mai mult de trecutul medicinei. Actualmente ea practic nu se mai efectuează, cedând prioritatea ultrasonografiei și altor metode imagistice. De asemenea, foarte rar se indică colecistocolangiografia intravenoasă.

Colangiopancreatografia retrogradă endoscopică (figura 6.3) (mai frecvent se folosește abrevierea ERCP, din engleză ”endoscopic retrograde cholangiopancreatography”) se efectuează în laboratorul de radiologie intervențională. După stabilirea diagnosticului, imediat pot fi efectuate procedee curative, ca litotripsia mecanică, litextracția, dilatarea cu balon a căilor biliare stenozate cu plasarea stenturilor. ERCP se indică și în evaluarea calității tratamentului patologiei căilor biliare și deseori permite detectarea modificărilor patologice restante (calculi restanți, stricturi, deplasarea stenturilor etc.) în cazurile în care investigația ultrasonografică nu este relevantă.



**Figura 6.3.** Colangiopancreatografia retrogradă endoscopică: a) aspect normal al căilor biliare; poate fi vizualizat și ductul pancreatic; b) pacient cu neoplasm gastric, dilatarea ducturilor biliare; c) pacient cu icter mecanic, cauzat de colelitiază, calcul de dimensiuni mari, megacoledoc secundar.



**Figura 6.4.** Colangiografia intraoperatorie (prin tub T Kehr).

### 6.1.2. Investigația ultrasonografică a sistemului biliar

*Ultrasonografia* reprezintă metoda de primă intenție în evaluarea patologiei sistemului biliar.

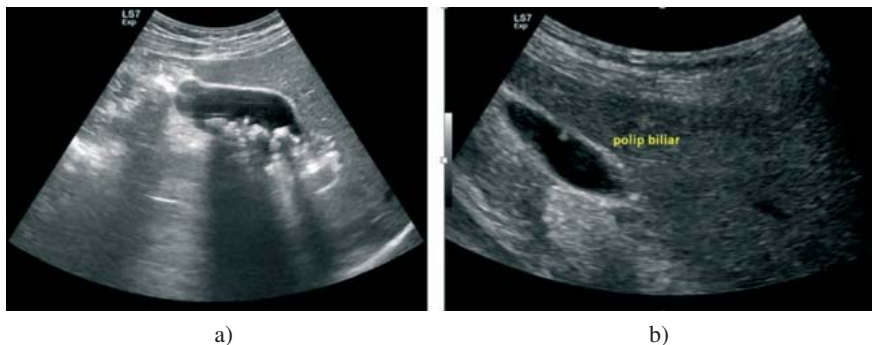
Vezica biliară normală poate fi caracterizată prin:

- ✓ Forma ovală;
- ✓ Lungimea 6-12 cm;
- ✓ Lățimea 2-4 cm;



- ✓ Grosimea peretelui 2 mm în regiunea fundului și corpului și 3 mm la nivelul infundibulului și colului;
- ✓ Contur clar;
- ✓ Conținut intern anecogen.

Investigația ultrasonografică poate să depisteze calculi, ceea ce este deosebit de important în cazul calculilor radionegativi, proceselor inflamatorii, cheagurilor de bilă, formațiunilor (figura 6.5.).



**Figura 6.5.** Investigația ultrasonografică a colecistului: a) calculi multipli: în cavitatea colecistului, pe fundalul anecogenic se vizualizează structurile hiperecogene, urmate de con de umbră; b) polip biliar.

În colecistita acută acalculoasă ecografic se depistează îngroșarea considerabilă a peretelui colecistului față de normă.

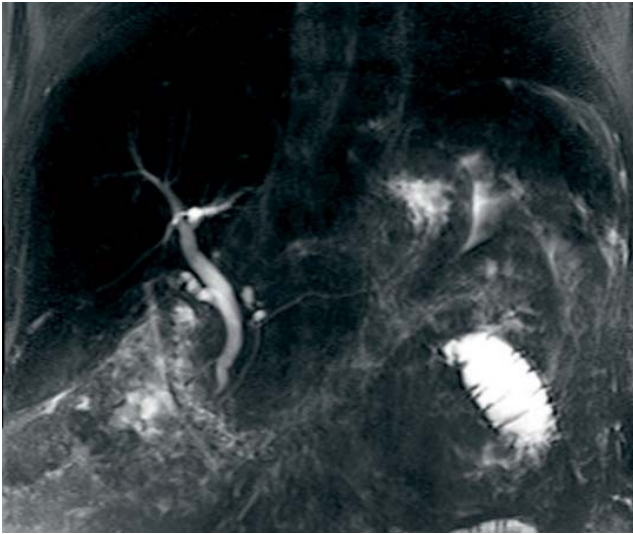
### 6.1.3. Alte metode imagistice utilizate pentru explorarea sistemului biliar

Vizualizarea excelentă a căilor biliare intra- și extrahepatice, a ductului pancreatic și a vezicii biliare poate fi obținută cu ajutorul *investigației imagistice prin rezonanța magnetică* (figura 6.6).

Avantajul acestei metode constă, de asemenea, în faptul că vizualizarea excelentă se obține fără a introduce substanța de contrast.

Pentru aprecierea integrității funcționale a hepatocitelor, tractului biliar, vezicii biliare și sfincterului Oddi este utilizată *scintigrafia hepato-biliară dinamică sau secvențială*.

Tehnica este bazată pe faptul că anumiți compuși liposolubili, precum acidul iminodiacetic, marcați cu Tc-99m ( $^{99m}\text{Tc}$  HIDA) sunt preluați din circulație de hepatocite și eliminați în căile biliare, permițând vizualizarea acestora la diverse etape (de la injectarea intravenoasă până la stocarea în vezica biliară și eliminarea ulterioară în intestin).

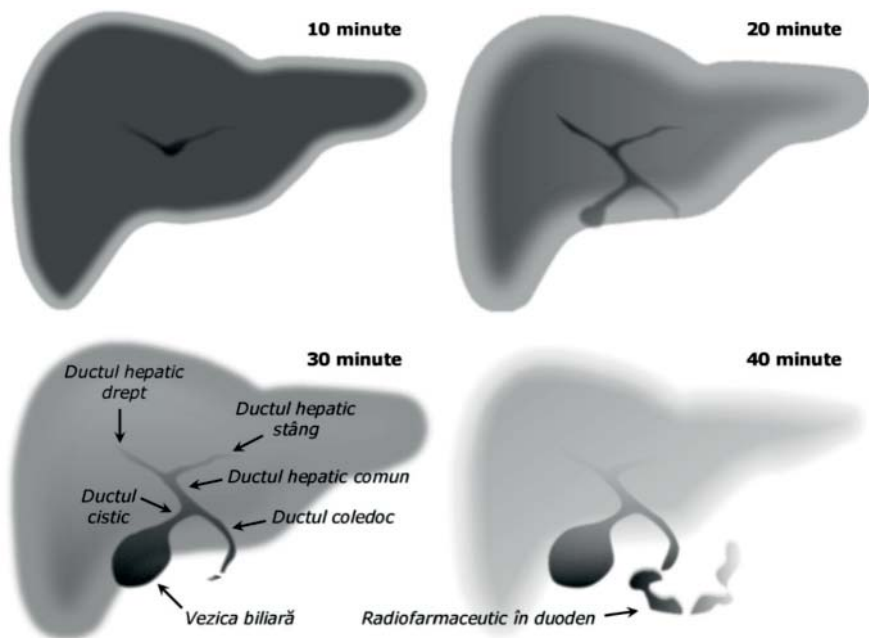


**Figura 6.6.** Colangiopancreatografia prin rezonanța magnetică.

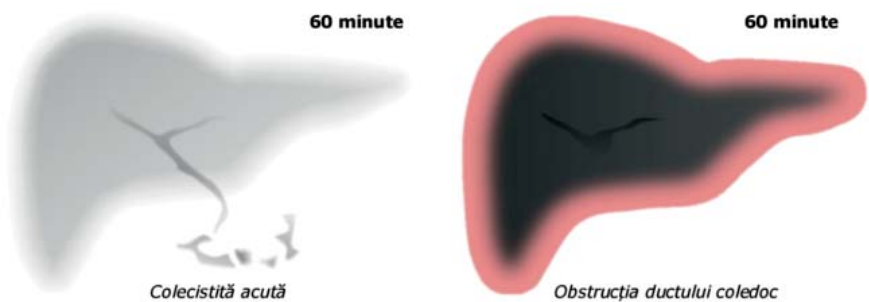
Deoarece alimentarea este asociată cu contracția reflectorie a vezicii biliare, pregătirea pacientului pentru scintigrafia hepato-biliară necesită repaus alimentar de 4-6 ore înainte de începerea investigației. Cele mai frecvent utilizate preparate radiofarmaceutice în acest scop (derivați ai acidului iminodiacetic marcați cu  $^{99m}\text{Tc}$ ) sunt cunoscute sub denumirea de Disofenin (Hepatolite) și Mebrofenin (Choletec). Tehnica scintigrafică include obținerea imaginilor secvențiale în decurs de 60 de minute după injectarea intravenoasă a preparatului radiofarmaceutic (1 secvență / secundă timp de 1 minut pentru evaluarea vascularizării hepatice și preluării radiofarmaceuticului de către parenchimul hepatic, apoi 1 secvență la fiecare 2 minute timp de 60 de minute pentru evaluarea căilor biliare și a colecistului).

În mod normal, căile biliare și colecistul sunt vizualizate în primele 30 de minute (figura 6.7), deși intervalul de timp standard considerat a fi în limite normale este de 60 de minute. În cazurile când preparatul radiofarmaceutic nu atinge vezica biliară sau duodenul la sfârșitul investigației după 60 de minute de scanare, este recomandată obținerea imaginilor statice adiționale la fiecare 30 de minute în decursul a 4 ore.

Scintigrafia hepato-biliară este frecvent indicată în evaluarea anomaliilor hepato-biliare congenitale și dobândite (atrezii biliare, boala Caroli, intervenții chirurgicale hepato-biliare, ictere obstructive). Tehnica este, de asemenea, pe larg utilizată în diagnosticul colecistitei acute, având o acuratețe



**Figura 6.7.** Reprezentare schematică a structurilor vizualizate în timpul scintigrafiei hepato-biliare secvențiale.



**Figura 6.8.** Reprezentare schematică a datelor scintigrafice în obstrucția ductului coledoc și în colecistita acută. La majoritatea pacienților cu obstrucția completă a ductului coledoc, colecistul și căile biliare sunt deja umplute cu conținut sub presiune, fapt ce nu permite intrarea radioactivității în căile biliare și vizualizarea acestora. În colecistita acută fără obstrucția ductului coledoc, inflamația locală nu permite intrarea radioactivității în vezica biliară, bila radioactivă fiind eliminată direct în duoden.

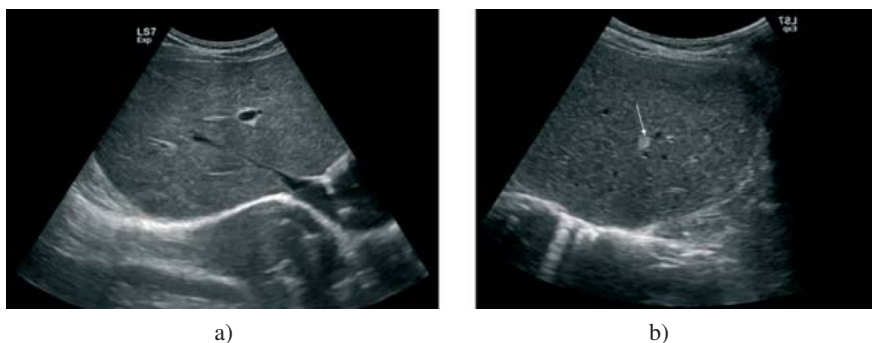
de peste 95%. Datele din literatură relevă că în peste 95% din cazuri colecistita acută este asociată cu obstrucția ductului cistic. De asemenea, inflamația locală acută nu permite intrarea radioactivității în vezica biliară. Astfel, la pacienții cu colecistită acută, bila radioactivă este eliminată direct în duoden fără vizualizarea vezicii biliare la sfârșitul investigației (figura 6.8).

## 6.2. EVALUAREA IMAGISTICĂ A FICATULUI

### 6.2.1. Evaluarea ultrasonografică a ficatului

Investigația ultrasonografică reprezintă metoda de primă intenție în cazul suspiciunii de patologie a ficatului și nu rareori ea este suficientă pentru stabilirea diagnosticului și a tacticii de tratament. Dacă nu este un caz de urgență, pacientul trebuie să se prezinte la investigație după un repaus alimentar. Examinarea include evaluarea ficatului, colecistului, căilor biliare, pancreasului și splinei. Ea începe cu ecografia 2D, dar practic totdeauna este asociată cu ecografia Doppler, care furnizează datele morfologice și funcționale referitoare la arterele hepatice, sistemul venei porte, permite diferențierea vaselor sangvine și ducturilor biliare, oferă informația despre tipul vascularizării în cazul formațiunilor de volum.

În cazul suspiciunii de o formațiune de volum sau necesității diagnosticului diferențial (benign-malign etc.), informație utilă poate oferi ecografia cu substanță de contrast.



**Figura 6.9.** Imaginea ultrasonografică a ficatului: a) ficatul normal; b) pe fundalul parenchimului normal se depistează o structură rotundă hiperecogenă (săgeata) – hemangiom hepatic.

Tabelul 6.2.

Analiza datelor investigațiilor imagistice în afecțiunile hepatice difuze și în focar

<b>Afecțiunile hepatice difuze</b>	<b>Dimensiunile organului</b>	Mărite
		Micșorate
	<b>Structura</b>	Neomogenă
	<b>Ecogenitatea</b>	Hiperecogenă
		Hipoecogenă
		Calcificări
<b>Vascularizarea</b>	Neschimbată	
	Semne de hipertensiune portală	
<b>Afecțiunile hepatice în focar</b>	<b>Dimensiunile</b>	
	<b>Localizarea</b>	Lob
		Segment
	<b>Numărul</b>	Solitară
		Multipli
	<b>Structura</b>	Omogenă
		Neomogenă
	<b>Densitatea</b>	Solidă
		Fluidă
	<b>Contururi</b>	Bine delimitate
		Șterse
		Infiltrative
	<b>Semne indirecte</b>	Deformarea conturilor
		Amprentări/amputări de structuri vasculare și/sau biliare
<b>Modificări asociate</b>	Ciroza	
	Steatoza	
	Hipertensiunea portală	

Elastografia ficatului (numită FibroScan) oferă informația privitoare la rezistența țesutului hepatic la oscilații electromagnetice și permite evidențierea zonelor de fibroză în ficat, care se dezvoltă în mai multe boli hepatice cronice de diferite etiologii (ciroza hepatică de diferită etiologie, steatoza hepatică, hemocromatoza etc.) și cuantificarea gradului de fibroză.

Ficatul normal în imaginea ultrasonografică apare ecogen (normoecogen), cu structura omogenă micronodulară ("ca un amestec de sare și piper"). Pe acest fundal pot fi detectate structurile tubulare cu pereți fini, hiperecogeni și conținut anecogen (transsonic) – vasele sangvine sau ducturile biliare (figura 6.9, a).

Afecțiunile hepatice, în linii generale, pot fi divizate în difuze și cele

în focar (figura 6.9, b). În fiecare caz, patologia detectată trebuie să fie analizată și caracterizată după anumiți parametri (tabelul 6.2). O astfel de analiză se efectuează în caz de evaluare a ficatului nu numai ultrasonografic, dar și prin alte metode imagistice.

## 6.2.2. Alte metode imagistice în explorarea ficatului

*Tomografia computerizată* a ficatului poate fi efectuată fără contrast (nativ) și cu introducerea substanței de contrast. Contrastarea va fi indicată cu scop de evaluare a arterei hepatice și venei porte în cazul hemoragiilor, pentru detectarea metastazelor de dimensiuni mici și evaluarea dinamicii vasculare în cazul formațiunilor de volum.

Investigația *imagistică prin rezonanța magnetică*, în special cu administrarea substanței de contrast, se indică în primul rând cu scop de detectare și diagnostic diferențial în diverse afecțiuni hepatice în focar, dar va fi utilă și în evaluarea afecțiunilor hepatice difuze, oferind vizualizarea excelentă a țesuturilor moi din diferite planuri de secțiuni reale.

*Scintigrafia hepato-splenică* este utilizată pentru evaluarea mezenchimului ficatului și splinei, având la bază procesul de fagocitoză a radiofarmaceuticului administrat de către celulele sistemului reticuloendotelial din ficat și splină. Preparatul radiofarmaceutic cel mai frecvent utilizat în acest scop este *99mTc-sulfocoloid* (disponibil și sub formă de FYTON kit) cu dimensiunile particulelor între 0,3 și 1,0 μm (0,3-1,0 mcm sau microni). După injectarea intravenoasă, aceste particule de *99mTc-sulfocoloid* sunt înlăturate din circulația sangvină de către fagocitele sistemului reticuloendotelial (timp de înjumătățire în circulație de circa 2-3 minute).

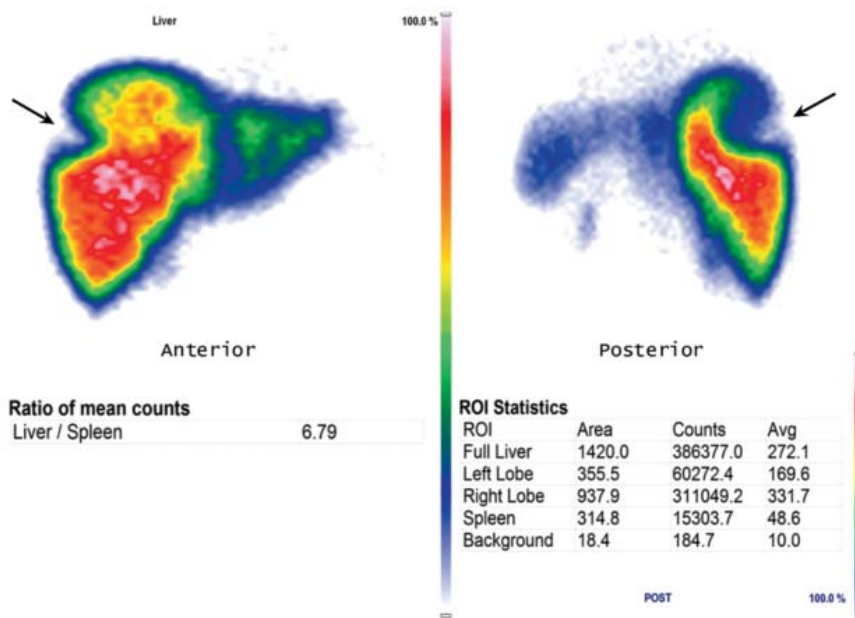
Tehnica scintigrafică include obținerea imaginilor statice la 5-10 minute după administrarea intravenoasă a 74-222 MBq (2-6 mCi) de *99mTc-sulfocoloid* în funcție de greutatea corpului. La pacienții cu funcție alterată a ficatului, procesul de fagocitoză și acumulare a particulelor coloidale de către celulele Kupffer poate fi mai lent, necesitând obținerea unor imagini adiționale la 20-30 de minute după injectare.

Evaluarea rezultatelor scintigrafiei hepato-splenice necesită abordarea unor aspecte precum:

- forma, dimensiunile și poziția ficatului și splinei;
- omogenitatea distribuției radiofarmaceuticului în ficat și splină;
- distribuția relativă a preparatului radiofarmaceutic în ficat, splină și măduva osoasă;

- prezența focarelor de acumulare crescută sau redusă a radiofarmaceuticului în ficat și splină.

La majoritatea pacienților fără patologii hepatice, imaginile scintigrafice relevă un lob hepatic drept dominant cu dimensiunea verticală (cranio-caudală) până la 18 cm. În afara afecțiunilor locale, hepatosplenomegalia poate fi întâlnită în diverse afecțiuni sistemice infecțioase, hematologice sau metabolice. Splenomegalia este cauzată de hepatomegalie în circa 30% din cazuri. Distribuția preparatului radiofarmaceutic în proiecția ficatului și splinei poate fi omogenă sau neomogenă, reflectând adesea informații relevante despre modificările parenchimului hepatic și splenic.



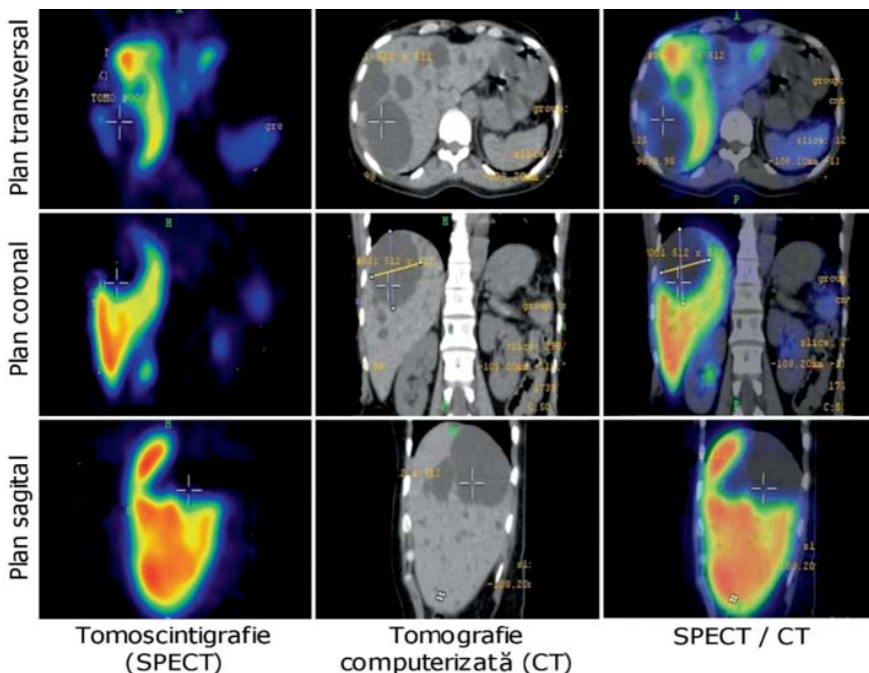
**Figura 6.10.** Scintigrafia hepatică planară cu  $^{99m}\text{Tc}$ -sulfocoloid relevă un focar fotopepic prominent (indicat cu săgeată) în lobul hepatic drept, care este asociat cu modificarea conturului hepatic adiacent și o distribuție neuniformă a radioactivității în ficat.

La indivizii sănătoși, între 80 și 90% dintre particulele coloidale injectate sunt sechestrate în ficat și între 5 și 10% sunt sechestrate în splină. Un procent relativ mic de particule este depozitat și în celulele sistemului reticuloendotelial din alte părți ale corpului, inclusiv din măduva osoasă. Pentru reducerea iradierii pacientului, dozele utilizate în protocoalele de rutină sunt însă suficiente doar pentru vizualizarea ficatului și splinei. Re-

distribuția radioactivității cu acumulare crescută a particulelor coloidale în splină și măduva osoasă poate fi întâlnită la pacienții cu hipertensiune portală sau diverse patologii hepatice.

**Focare hepatice fotopenice** (cu radioactivitate redusă sau absentă, figura 6.10) la scintigrafia cu  $^{99m}\text{Tc}$ -sulfocoloid sunt întâlnite în diverse afecțiuni locale asociate cu înlocuirea țesutului hepatic și a celulelor Kupffer cu substrat patologic. Printre acestea pot fi enumerate chisturile și abcesele hepatice, hematoamele intrahepatice, tumorile benigne și maligne (adenoame, hemangioame, hepatoame, colangiocarcinoame), precum și majoritatea metastazelor hepatice (în special leziunile secundare generate de cancerul de colon).

Investigația SPECT/CT efectuată acestui pacient a relevat multiple chisturi hepatice (figura 6.11).



**Figura 6.11.** Investigația SPECT/CT cu  $^{99m}\text{Tc}$ -sulfocoloid efectuată pacientului din figura precedentă relevă multiple chisturi hepatice. Localizarea chistului dominant din lobul hepatic drept corespunde regiunii fotopenice vizualizate la scintigrafia planară.



## VII. IMAGISTICA SISTEMULUI OSTEOARTICULAR

### 7.1. EXAMINAREA RADIOLOGICĂ A SISTEMULUI OSTEOARTICULAR

#### 7.1.1. Anatomia radiologică normală

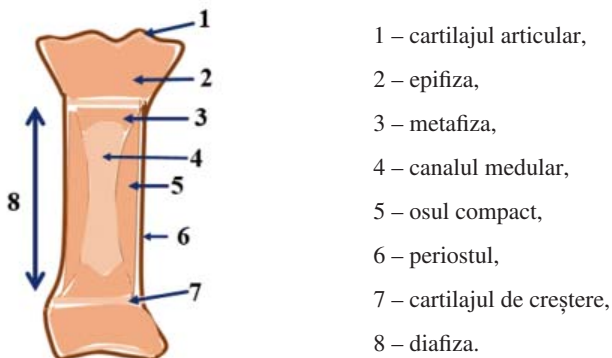


**Figura 7.1.** Diferite tipuri de oase în imaginea radiografică: a) oase tubulare lungi (tibia și fibula, fragmentul radiografiei); b), c) oase scurte (corpurile vertebrelor, radiografia de față și de profil); d) oase plate (oasele bazinului).

Sistemul osteoarticular sau aparatul locomotor include oasele, partea musculară și structurile adăugătoare din țesuturi moi: ligamente, tendoane, cartilaje.

Structurile osoase formează scheletul axial (include craniul, coloana vertebrală, sternul și grilajul costal) și scheletul apendicular (restul oaselor). După dimensiuni, oasele se clasifică în oase lungi, oase plate și oase scurte (figura 7.1).

Un os lung poate fi divizat în 3 părți: diafiza, epifiza și metafiza (figura 7.2).



**Figura 7.2.** Schema structurii osului tubular la adolescent.



**Figura 7.3.** Osul spongios (fragmentul radiografiei), se vizualizează traveele osoase, dispuse conform liniilor de forță.

Osul normal de orice dimensiune la adult poate avea 2 tipuri de țesut osos: spongios și compact. Metafiza și epifiza unui os lung, oasele plate și interiorul (nucleul) unui os scurt sunt constituite din țesut spongios, care formează traveele osoase. Țesutul compact formează corticala osului. Osul este înconjurat de un strat de țesut conjunctiv – periost.

Țesutul osos se prezintă radiografic ca o imagine opacă (cea mai mare densitate după cea metalică). La nivelul osului spongios se vizualizează traveele (figura 7.3). Osul compact se vizualizează ca un strat extern opac (figurile 7.2, 7.3). Periostul și structurile cartilajinoase în mod normal nu se vizualizează. Uneori, ca excepție, periostul normal poate fi vizualizat la copii, sub formă de o linie opacă fină ce dublează conturul osos în regiunea diafizei.

Țesutul osos este un țesut viu, care pe parcursul vieții poate să aibă diferite modificări ce țin de funcția osteoblaștilor și osteoclaștilor.

Atât legătura între oase, cât și posibilitatea mobilității diferitor piese scheletice este asigurată cu ajutorul articulațiilor. Articulațiile includ extremitățile articulare ale oaselor, din care se constituie și structuri din țesuturi moi (ex., cartilaje, lichidul sinovial, capsula articulară, ligamente etc.).

După gradul de mobilitate, articulațiile pot fi: *sinartroze* sau articulații fixe, care unesc două oase diferite, dar nu permit mișcarea unui os față de altul (ex., oasele neurocraniului); *amfiartroze* sau articulațiile semimobile, care permit mișcarea doar într-un singur sens (ex., articulațiile coloanei vertebrale), și *diartroze*, numite și articulații mobile sau articulații sinoviale, care au structura mai complexă și permit mișcări multiple și variate (figura 7.4).



**Figura 7.4.** Schema structurii articulației (diartroza).



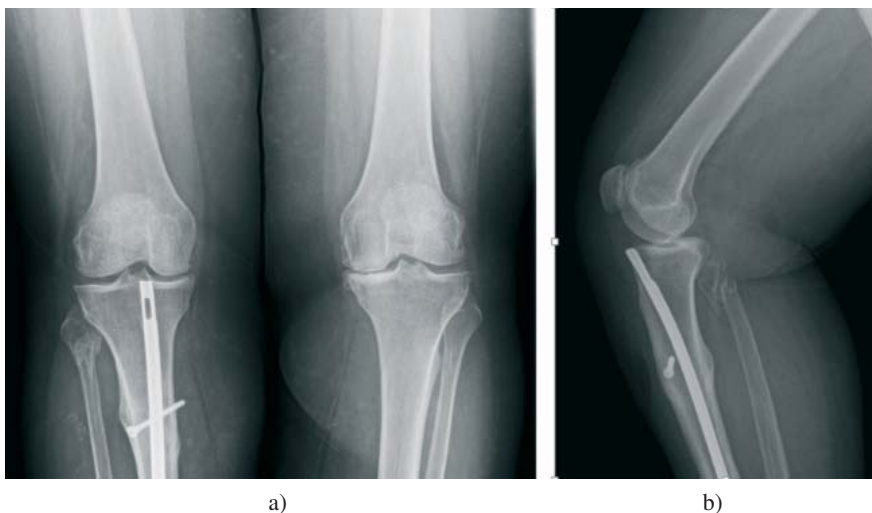
**Figura 7.5.** Radiografia țintită a articulației genunchiului. Articulația normală.

Structurile cartilaginoase, ligamentele reprezintă părțile componente ale articulațiilor, pe care în mod normal radiografic nu le putem distinge și diferenția de țesuturile moi din jur, deoarece toate cele enumerate au aceeași treaptă de densitate. Prin urmare, caracteristica radiografică a unei articulații include caracteristica spațiului intraarticular și extremităților articulare ale oaselor (figura 7.5). Spațiul intraarticular include radiografic spațiul intraarticular propriu-zis și cartilajul articular.

### 7.1.2. Metodele radioimagingice de investigație ale sistemului osteoarticular

**Radiografia standard** rămâne cea de primă intenție în suspiciune de patologie a oaselor și a articulațiilor (figura 7.6). O radiografie va fi calitativă și informativă în cazul în care se aplică un regim de raze corect și sunt respectate unele condiții obligatorii, și anume:

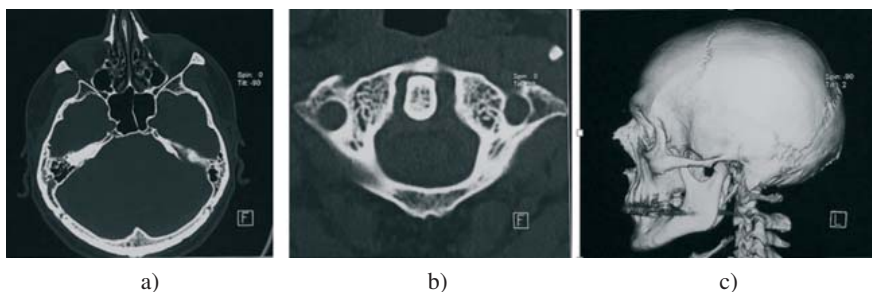
- cu scopul localizării corecte a procesului patologic, radiografia trebuie să fie efectuată în cel puțin două incidente, reciproc perpendiculare;
- radiografia osului trebuie să includă cel puțin o articulație a acestui os;
- în cazul patologiei structurilor simetrice (ex., oasele membrelor), acestea se explorează totdeauna bilateral.



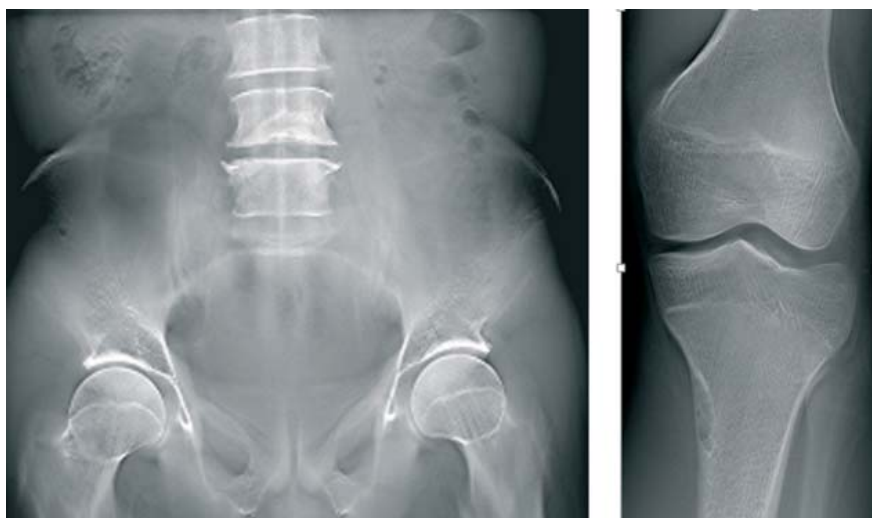
**Figura 7.6.** Radiografia standard a oaselor: proiecția de față, inclusiv osul simetric contralateral (a) și de profil (b).

În cazul în care rezultatul investigației radiografice este insuficient de informativ sau este dubios, poate fi indicată suplimentar o altă metodă imagistică. Aceasta a doua trebuie să fie aleasă minuțios în funcție de patologia suspectată în baza datelor clinice și paraclinice și rezultatelor investigației radiografice.

Dacă radiografia nu a elucidat toate momentele necesare, poate fi indicată **tomografia computerizată**, care permite obținerea imaginii pe secțiuni și oferă datele densitometrice exacte ale structurilor examinate și astfel permite evaluarea regiunilor complexe, decelează leziuni de dimensiuni mici, extensia procesului patologic, starea structurilor înconjurătoare (figura 7.7).



**Figura 7.7.** Tomografia computerizată în examinarea structurilor osoase: a), b) secțiunile axiale în fereastra osoasă; c) reconstrucția 3D.

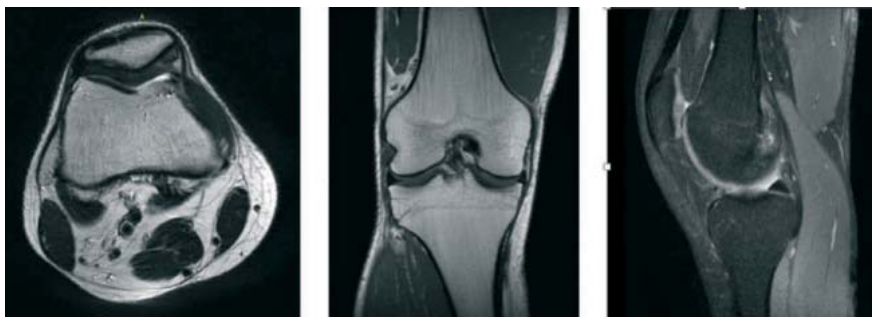


**Figura 7.8.** Imaginile structurilor osoase, obținute prin tomosinteză.

**Tomosinteza**, fiind mai puțin iradiantă decât tomografia computerizată, se folosește în cazul patologiei osoase atât pentru evidențierea proceselor patologice greu detectabile la radiografie simplă, cât și cu scopul diagnosticului diferențial între patologia osoasă benignă, procesele inflamatorii și procesele maligne, primare și secundare (figura 7.8).

În scopuri speciale pot fi indicate *investigațiile radiologice cu substanță de contrast*: pentru explorarea vaselor sangvine (evaluarea vascularizării tumorilor prin arteriografie sau tomografie computerizată în regim angiografic), a canalelor sau cavităților patologice cauzate de patologia osoasă (fistulografia), pentru explorarea articulațiilor (artrografia, care în ultimul timp se folosește rar).

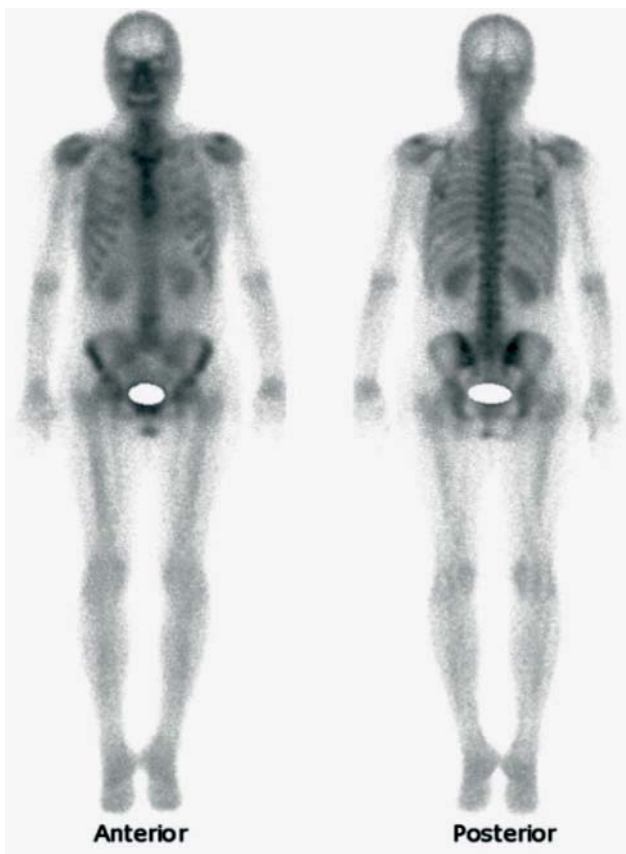
În cazul patologiei țesuturilor moi, inclusiv țesut muscular, cartilaje, structurile din țesut conjunctiv ce formează articulații, cea mai informativă va fi **investigația imagistică prin rezonanța magnetică** (figura 7.9). Această metodă neiradiantă permite obținerea diferitor planuri de secțiune și diferitor secvențe, inclusiv secvențele complementare speciale care atenuază semnalul venit de la anumite tipuri de substanțe (apa sau grăsimea), ceea ce ajută în diagnosticul diferențial. Unul din dezavantaje, specific explorării sistemului osteo-articular, este calitatea insuficientă de vizualizare a calcificărilor, ceea ce nu permite să devină metoda de elecție de investigație în cazul patologiei osoase. În patologia osoasă investigația IRM poate fi utilă pentru a evalua măduva osoasă sau pentru diagnosticul precoce al osteomielitei, în stadiul incipient, când are loc doar edemul osos.



**Figura 7.9.** Investigația IRM a articulației genunchiului: secțiunea în plan axial (transversal) (a), coronal (frontal) (b) și sagital (c).

În ultimii ani, în practica medicală se aplică explorarea **ultrasonografică** a articulațiilor, având în vedere țesuturile moi intra- și periarticulare,

lichidul sinovial. Cu acest scop se utilizează sonde liniare de înaltă frecvență (7-18 MHz). Investigația este neiradiantă, rapidă, confortabilă pentru pacient, relativ puțin costisitoare și repetabilă. Ea se face, de regulă, în două incidente, iar în cazul articulațiilor simetrice se investighează ambele.



**Figura 7.10.** Scintigrafie osoasă a întregului corp (imagini obținute la 2 ore după injectarea intravenoasă a 650 MBq (17,6 mCi) de  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP).

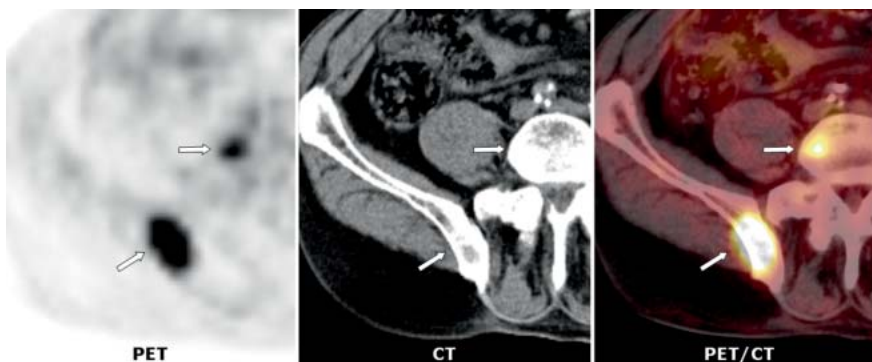
**Scintigrafia osoasă**, spre deosebire de celelalte metode imagistice, permite obținerea unei imagini a întregului corp ("whole body") (figura 7.10). Cel mai frecvent sunt folosite preparate radiofarmaceutice ca difosfonații marcați cu Tc-99m precum metilen difosfonat ( $^{99m}\text{Tc}$ -MDP) sau hidroximetilen difosfonat ( $^{99m}\text{Tc}$ -HMDP), care sunt încorporate în procesul de formare osoasă, reflectând intensitatea metabolismului osos și remodelării microarhitecturii osoase. Scanarea întregului corp după injectarea

intravenoasă a acestor radiofarmaceutice permite reperarea zonelor cu metabolism anormal chiar înainte apariției modificărilor morfologice și vizualizarea radiologică a zonelor afectate. Pentru eliminarea cât mai rapidă a preparatului radiofarmaceutic care nu va fi încorporat în scheletul osos este recomandată o hidratare intensă cu golirea cât mai frecventă a vezicii urinare de radioactivitatea acumulată.

În funcție de scopul investigației și patologiile osteoarticulare suspectate, pot fi utilizate câteva tehnici care includ:

- scintigrafia osoasă plană a întregului corp (scanare în regim "whole body");
- scintigrafia osoasă segmentară (de obicei pentru suplimentarea scintigrafiei întregului corp cu imagini ținute ale regiunii de interes);
- scintigrafia osoasă în 3 faze (faza arterială sau angioscintigrafia, faza precoce și faza tardivă);
- tomoscintigrafia (SPECT) cu sau fără achiziționarea imaginilor hibride SPECT/CT ale regiunii de interes.

Cel mai frecvent este efectuată *scanarea întregului corp* la un interval de circa 2 ore (între 2 și 4 ore) după administrarea intravenoasă a radiofarmaceuticului osteotrop, timp necesar pentru încorporarea preparatului în scheletul osos (figura 7.4). Tehnica are o sensibilitate foarte înaltă pentru detectarea precoce a metastazelor osoase în faza metabolică, prelezională, înainte de producerea alterărilor macrostructurii osoase care pot fi vizualizate radiografic. Luând în considerație că scheletul osos ocupă al 3-lea loc după frecvența localizării metastazelor la pacienții cu diverse patologii neoplazice (după ficat și plămâni), scintigrafia osoasă joacă un rol important în evaluarea pacienților oncologici și determinarea strategiei terapeutice.



**Figura 7.11.** Vizualizarea metastazelor osoase la investigația PET/CT cu  $^{18}\text{F}$ -FDG (imagini PET, CT și PET/CT ale unei secțiuni transversale). Metastazele osoase sunt indicate cu săgeți.



Alte investigații utilizând diverse preparate radiofarmaceutice sunt, de asemenea, disponibile pentru evaluarea pacienților cu patologii osteoarticulare. Așadar, tomografia cu emisie de pozitroni (PET) cu 2-18-F-deoxi-D-glucoză (<sup>18</sup>F-FDG) se indică cu scop diagnostic și de evaluare a răspunsului la tratament la pacienții cu procese neoplazice, inflamatorii și infecții ale sistemului osteoarticular (figura 7.11).

## 7.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ ELEMENTARĂ

Semiologia radiologică elementară a aparatului locomotor poate fi divizată în osoasă, articulară și a țesuturilor moi.

### 7.2.1. Semiologia radiologică elementară osoasă

Modificările patologice ale oaselor sunt multiple. Tabelul 7.1 reprezintă sistematizarea lor.

Tabelul 7.1

*Modificările radiologie elementare în patologia osoasă*

<b>Modificările osoase</b>	<b>Modificări de formă</b>	Hiperostoza	
		Atrofia	
		Oedostoza („os sulfat”)	
		Scoliostoza	
		Exostoza	
	<b>Modificări de dimensiuni</b>	Aplazia	
		Hipoplazia	
		Hiperplazia	
		Displazia	
	<b>Modificări de structură</b>	Distructive	<b>Osteoporoză</b>
<b>Osteoliză</b>			
<b>Osteodistrucție</b>			
<b>Osteonecroză</b>			
	Constructive	<b>Osteoscleroză</b>	
		<b>Osificările heterogene</b>	
		<b>Modificări de poziție și ax</b>	Traumatice
	Luxații		
		Scoliostoze	
<b>Modificările periostului: Periostită /periostoză</b>	Liniară		
	Lamelară		
	Dințată		
	Spiculară		
	Pinteni periostici („cozoroc”)		

### 7.2.2. Modificări de formă și dimensiuni ale osului

Hiperostoza reprezintă îngroșarea osului prin volum de os nou format peste valorile normale din cauza efortului excesiv sau prin hipertrofia și osificarea periostului cauzate de dereglări de circulație sangvină, intoxicații, procese inflamatorii.

În cazul atrofiei osoase are loc micșorarea globală sau localizată a dimensiunilor osului. Cauzele cele mai frecvente sunt funcția locomotorie limitată a segmentului afectat sau procesele neurodistrofice.

Oedostoza (os ”suflat”) se manifestă prin mărirea locală a volumului osului însoțită de micșorarea cantității țesutului osos propriu-zis, care este înlocuit prin alt țesut de densitate mai mică (fibros, cartilagin) – în caz de chist, tumoare. Radiografic, regiunea afectată a osului apare mai transparentă, cu conturul opac, clar (figura 7.12).



Figura 7.12. Oedostoza.

Termenul ”scoliostoză” se folosește în caz de curbare a osului. În cazul curbării coloanei vertebrale este vorba despre scolioză (figura 7.13).

Despre exostoza este vorba în cazul apariției unei deformări localizate a conturului osului cauzate de apariția unei producțiuni osoase noi cu aceleași elemente morfologice ca și osul normal (figura 7.14).

Diminuarea dimensiunilor osului cu dezvoltarea generală armonioasă și păstrarea formei și structurii normale se numește hipoplazie, iar dezvoltarea exagerată a osului peste dimensiuni normale, dar, de asemenea, cea armonioasă, cu păstrarea formei și structurii normale – hiperplazie.

Aplazia (agenesia) reprezintă absența congenitală a uneia sau a mai multor piese scheletice.



a)



b)

**Figura 7.13.** Modificări de formă a osului: a) scolioza, b) scoliostoza.



a)



b)

**Figura 7.14.** Exostoza: a) la nivelul oaselor calcanee bilaterale; b) la nivelul vertebrelor.

### 7.2.3. Modificări de structură osoasă

Modificările osoase distructive duc la diminuarea densității osului și se manifestă radiografic prin apariția zonelor de transparentă. Osteoporoza morfologic se manifestă prin micșorarea numărului de travee osoase și subțierea lor într-o unitate de volum la nivelul osului spongios (figura 7.15). De asemenea, are loc spongiozarea osului compact cu subțierea lui. În cazul în care are loc diminuarea cantității sărurilor de fosfor și calciu în structura osului și, deci, reducerea masei osoase, dar fără de alterarea microarhitecturii osului, se folosește termenul "demineralizare". Se folosește, de asemenea, noțiunea de osteopenie fiziologică, legată de îmbătrânirea scheletului. În osteoporoză acest proces este exagerat, are loc dezechilibrul dintre activitatea osteoblastelor și a osteoclastelor, ce rezultă nu numai în reducerea de masă osoasă, dar și în alterarea matriței proteice.



**Figura 7.15.** Radiografia mâinilor: a) oase normale; b) osteoporoză.

Tipurile de osteoporoză includ osteoporoza primară și secundară. Cea primară se întâlnește mai frecvent (în circa 95% din cazuri) și cuprinde subclase: osteoporoza postmenopauză, osteoporoza senilă, osteoporoza juvenilă idiopatică (aceasta din urmă este rară). Cea secundară se dezvoltă în cadrul unor afecțiuni cronice, precum cele endocrine, metabolice, genetice, neoplazice.

Osteoporoza poate fi locală (mai frecvent, cauzată de procese inflamatorii, în stadii inițiale ale proceselor distructive), regională (ocupă o regiune anatomică, de ex., în poliartrită), difuză (de ex., toate oasele unui membru în cazul dereglărilor de circulație sangvină și/sau inervație a acesteia) și de sistem (tot scheletul. Se poate întâlni în procese patologice dismetabolice și dishormonale).

Radiografia convențională poate evidenția semne de osteoporoză dacă cantitatea de calciu în os este redusă cu  $\geq 25-30\%$  de la inițial. Aceste semne sunt:

- Micșorarea densității la nivelul osului spongios;
- Subțierea stratului cortical – la nivelul osului compact;
- Dilatarea canalului medular.

În timp, pot apărea modificările secundare: incurbarea oaselor lungi cu modificarea axului lor, accentuarea chifozelor, deformarea corpurilor vertebrale etc.

Despre osteoliză este vorba în caz de demineralizare rapidă a țesutului osos cu înlocuirea lui cu țesut fibros. Apare mai frecvent în dereglări trofice (în afecțiunile sistemului nervos central, boli de sistem), interesează mai mult regiunile periferice ale extremităților (în primul rând falangele distale), pot fi implicate și extremitățile articulare ale oaselor tubulare mai mari (figura 7.16). Sunt afectate în aceeași măsură toate componentele osului: osul spongios, stratul cortical.

În osteodistrucție țesutul osos distrus este înlocuit cu țesut patologic (puroi, mase cazeoase, țesut tumoral), corespunzător, cauza fiind procesele inflamatorii, chisturile, tumorile. Apare ca un focar transparent, conturul poate fi diferit în funcție de procesul cauzal, localizare, de asemenea, poate fi în orice segment al scheletului. Zona cu transparență patologică mai frecvent este heterogenă (în unele cazuri de osteită, osteomielită este vorba de aspect ”mâncat de molii” sau de ”lemn putred”) (figura 7.16).

În cazul osteonecrozei are loc moartea biologică a unui teritoriu osos, cauzată de stop circulator local (septic sau aseptice). Fragmentul osos necrotizat (sechestrul) radiografic apare mai dens decât osul sănătos: are lor absorbția conținutului lichidian, iar trabeculele osoase pierd legătura cu zona neafectată și, fiind comprimate, devin mai compacte. Fragmentul necrotizat se delimitează de osul din jur cu o zonă îngustă transparentă. În diferite momente de evoluție a procesului patologic, sechestrul poate fi localizat intraos (în cavitatea patologică), penetrant (rămânând parțial în cavitate, iar parțial – în țesuturile adiacente) sau extraos (complet în țesuturile adiacente) (figura 7.17). De asemenea, pot fi evidențiate sechestre spongioase sau corticale. Evoluția regiunii necrotizate poate să difere de cea ”clasică”. Procesul de osteonecroză are și o perioadă latentă de dezvoltare, pe parcursul căreia tabloul radiologic va fi diferit. În cazuri dubioase sunt indicate adăugător alte metode imagistice (vezi mai sus).



a)



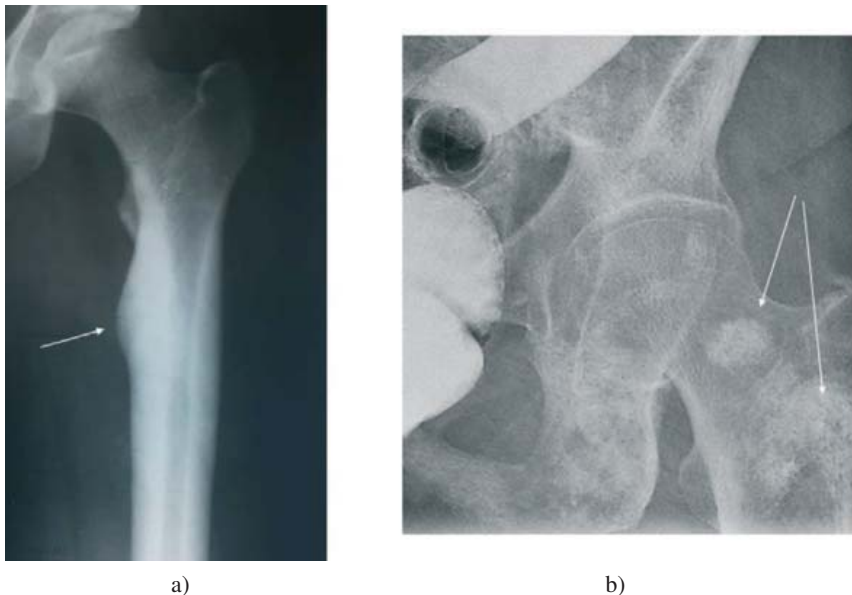
b)

**Figura 7.16.** a) zone de osteoliză cu localizare predominant la nivelul oaselor carpiene, cu afectarea și a oaselor metacarpiene, și a porțiunii distale a radiusului; b) osteodistrucția (diafiza osului femural): semnul de lemn putred. Săgeata arată periostita lineară: linia opacă fină paralelă cu marginea osului.



**Figura 7.17.** Osteonecroza. Osteomielite cronică posttraumatică (osul femural). Săgeata arată sechestrul cu localizare extraosoasă.

În osteoscleroză are loc mărirea cantității țesutului osos într-o unitate de volum, care se manifestă prin creșterea numărului de trabecule osoase și îngroșarea lor. Procesul poate fi limitat (de ex., postinflamator; în zonele vecine cu unele procese patologice osoase, în unele forme de metastaze, intoxicații etc.) și de sistem (se întâlnește mai rar, în unele maladii congenitale, intoxicații cu fluor, unele forme de leucoze etc.) (figura 7.18).



**Figura 7.18.** Osteoscleroza (săgeți): a) diafiza osului tubular; b) metastaze de tip osteosclerotic (depistate în timpul efectuării irigografiei).

Radiografic, osteoscleroza se manifestă ca o regiune cu densitate mai mare decât cea a osului sănătos, și anume:

- Mărirea densității la nivelul osului spongios;
- Îngroșarea stratului cortical – la nivelul osului compact;
- Îngustarea canalului medular până la dispariția lui completă.

Despre osificările heterogene este vorba în cazul apariției țesutului osos în teritorii extraosoase (ligamente, mușchi).

#### 7.2.4. Modificările periostului

Funcția de bază a periostului este crearea țesutului osos nou. În mod normal la adult periostul nu se decelează radiografic. El poate să apară vizibil în cazul proceselor patologice care implică reacția periostală, atât

în osul sau țesuturile din jur, cât și în organele situate la distanță, în cazul:

- ✓ Traumatismului;
- ✓ Patologiilor infecțioase și inflamatorii;
- ✓ Intoxicațiilor;
- ✓ Proceselor de adaptare.

Clasic, reacția periostului în cazul proceselor inflamatorii a fost numită periostită, iar în cazul proceselor neinflamatorii – periostoza. Unele clinici preferă primul termen, altele – al doilea, referitor la toate modificările periostale. Periostita (periostoza) poate fi (figurile 7.16, 7.19):



**Figura 7.19.** Modificările periostale, caracteristice tumorilor maligne: a), b) periostita spiculară (radiografia de față și de profil; în proiecția de față se poate face comparație cu osul contralateral, care nu reprezintă modificări patologice); c) detașarea periostului ("cozoroc" sau triunghiul Codman) (săgeata).



- Liniară – radiografic apare ca o opacitate lineară de-a lungul osului, delimitată de acesta de o zonă lineară transparentă, cauzată de edem, țesut tumoral etc.;
- Lamelară – câteva opacități lineare – aspect de ”coji de ceapă” (un proces patologic ce se caracterizează prin acutizări și remisii);
- Dantelată – se poate întâlni în procese inflamatorii cronice;
- Spiculară – aspect radiant, linii fine opace perpendiculare osului, cauzat de osificările paravazale; se întâlnește în tumori maligne.
- În formă de ”cozoroc” sau triunghiul Codman – întreruperea periostului caracteristică pentru procese tumorale maligne cu distrugerea stratului cortical și detașarea periostului.

### 7.2.5. Semiologia radiologică elementară articulară

Metoda de primă intenție în diagnosticul patologiei articulare rămâne radiografia. Ținând minte că radiografic putem distinge spațiul radiografic articular și extremitățile articulare ale oaselor, modificările patologice la nivelul acestor structuri ne vor permite să facem concluzia privind diagnosticul (tabelul 7.2; figurile 7.20, 7.21).

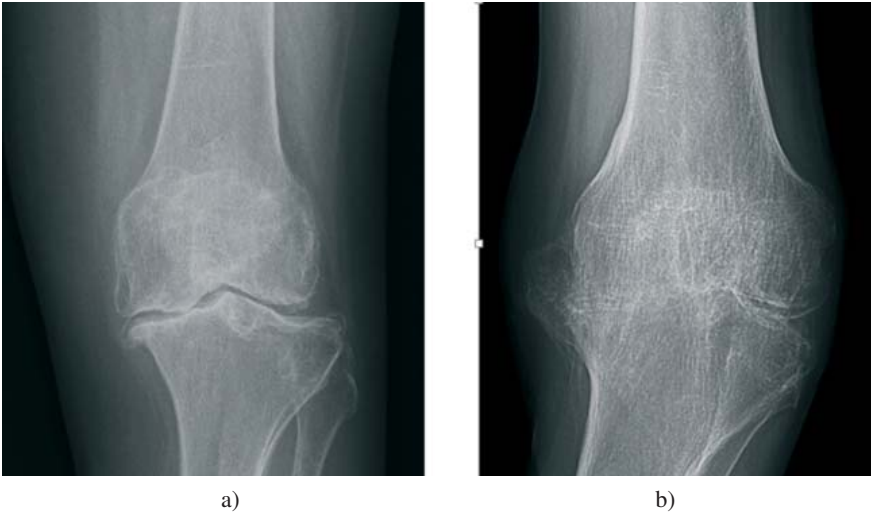


**Figura 7.20.** Radiografia mâinilor în artrita reumatoidă. Osteoporoza periarticulară. Reducerea spațiilor articulare interfalangiene. Eroziuni multiple ale suprafețelor articulare, cele mai pronunțate la nivelul articulațiilor interfalangiene distale.

## Modificările radiografice elementare la nivelul articulațiilor

<b>Modificările articulare</b>	<b>Modificări de spațiu articular</b>	De înălțime	Lărgire
			Reducere (uniformă, neuniformă)
			Dispariție
		De formă	
	De transparență		
<b>Modificările suprafețelor articulare:</b> eroziunea suprafețelor articulare, deformarea suprafețelor articulare, osteoscleroza suprafețelor articulare, osteoporoza subcondrală, osteofite marginale etc.			
<b>Modificările osoase adiacente</b> (osteoporoza periarticulară etc.)			
<b>Modificările țesuturilor moi adiacente</b>			

În cazul concreșterii suprafețelor articulare ale oaselor ce formează articulați, apare anchiloza și ca rezultat al acesteia pierderea completă a mobilității articulației. Semne radiologice certe de anchiloză reprezintă dispariția spațiului articular și trecerea trabeculelor de la os la os (figura 7.21).



**Figura 7.21.** Radiografia articulației genunchiului. Gonartroza (diferiți pacienți): a) reducerea neuniformă a spațiului articular, osteoscleroza suprafețelor articulare, osteofite marginale; b) reducerea considerabilă și dispariția parțială a spațiului articular, în locul dispariției se observă trecerea trabeculelor de la os la os – dezvoltare de anchiloză.

### 7.2.6. Semiologia radiologică elementară a țesuturilor moi.

Procesele patologice ale țesuturilor moi în linii generale pot fi cauzate de:

- Traumatism;
- Procese inflamatorii;
- Tumori, benigne sau maligne, cu originea din diferite tipuri de țesut.

Din alt punct de vedere, ele pot fi cauzate de patologia proprie a țesutului sau cele secundare ale patologiei osoase. Modificările de volum ale țesuturilor moi includ mărirea volumului (îngroșare), reducerea în dimensiuni sau deplasarea (împingerea) țesuturilor moi cu sau fără modificarea volumului propriu-zis. Modificările de structură (față de structura normală a țesutului care ar trebui să fie în regiunea examinată) includ mai frecvent modificări de omogenitate, densificarea acestuia și/sau prezența calcificărilor de diferită origine (posttraumatică, metabolică, vasculară, parazitară, tumorală etc.).

Radiografia convențională în patologia țesuturilor moi nu este relevantă și poate să pună în evidență doar tumefierea lor și prezența calcificărilor în hematoame vechi sau în boli de sistem (figura 7.22). Însă scopul investigației imagistice este nu numai detectarea patologiei propriu-zise, dar și localizarea cât mai precisă a acesteia, inclusiv bilanțul de extensie a procesului patologic. Majoritatea patologiilor vor necesita luarea deciziei privind tratamentul chirurgical și acest bilanț va fi indispensabil. Tomo-



**Figura 7.22.** Modificări radiologice la nivelul țesuturilor moi.

grafia computerizată este mult mai informativă, în cazul tumorilor ea va detecta masa tumorală, conturul, vascularizarea, densitatea acesteia, care va permite a face concluzia despre natura ei. Metoda imagistică de elecție va fi imagistica prin rezonanța magnetică. În cazul tumorilor maligne cu tendință spre metastazare în oase, pacientul va necesita bilanțul acesteia prin scintigrafia scheletului.

### 7.3. DIAGNOSTICUL RADIOLOGIC ÎN TRAUMATISMUL OSTEOARTICULAR

Patologia traumatică a aparatului locomotor include patologia osoasă, patologia articulară și patologia țesuturilor moi adiacente.

#### 7.3.1. Diagnosticul radiografic al fracturilor

Radiografic, fractura reprezintă o discontinuitate, întrerupere a integrității osului. Metoda imagistică de bază în cazul fracturilor este radiografia, efectuată conform regulilor indicate mai sus. Semnele radiologice ale unei fracturi sunt:

- Traiectul sau linia fracturii;
- Deplasarea fragmentelor.

Radiografic, linia de fractură este o linie transparentă apărută pe fundalul osului (în unele cazuri excepționale, ca fractură în "lemn verde" sau cu deplasarea longitudinală prin angrenare a fragmentelor osoase, linia de fractură poate să apară opacă). Există diferite tipuri de fracturi (tabelul 7.3).

Raportul investigației radiografice în cazul fracturii trebuie să includă:

- ✓ Confirmarea faptului fracturii.
- ✓ Caracteristica fracturii. În cazul fracturilor multiple sau simultane, se caracterizează fiecare linie de fractură depistată. Caracteristica fracturii în raportul investigației radiografice în mod obligatoriu trebuie să includă informația despre:
  - **Localizarea;**
  - **Caracteristica liniei (traiectului) de fractură (completă, incompletă, direcția);**
  - **Informația despre deplasarea fragmentelor (este, nu este, dacă da, care);**
  - **Vechimea fracturii;**
- ✓ Starea structurilor adiacente (țesuturi moi, articulații);
- ✓ În unele cazuri, radiografic poate fi presupus tipul de fractură (de

ex., depistarea modificărilor osoase concomitente în cazul fracturilor patologice).

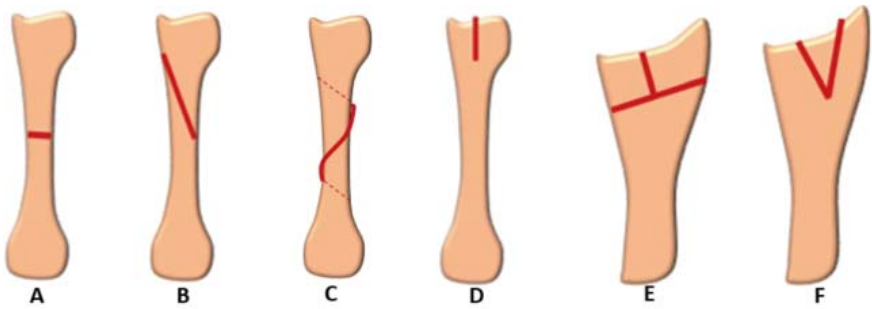
**Caracteristica fracturii:** direcția liniei de fractură și a deplasării fragmentelor se apreciază în raport cu axul lung al osului.

Linia de fractură poate fi (figurile 7.23, 7.26, 7.27):

Tabelul 7.3

*Tipurile de fracturi*

<b>După mecanismul de formare</b>	De forță	Fractura "mecanică", apare pe os sănătos în urma aplicării unei forțe externe importante, care depășește rezistența segmentului scheletic.	
	De stres ("de oboseală")	Apare în urma aplicării unor forțe insuficiente pentru a produce fractura într-o singură acțiune, dar repetitive de multe ori și de durată în timp (alergatul la distanțe lungi, marșul soldaților). Mai frecvent reprezintă fisuri, uneori dificile de evidențiat radiografic, fără semne de lezare a țesuturilor adiacente.	
	Prin arma de foc		
	Fracturi patologice	Fractura care apare în urma aplicării unei forțe externe de intensitate joasă, dar pe fundalul osului deja compromis de unele procese patologice (tumoare, chist, osteomielită etc.) (figura 7.30).	
<b>După raportul între locul aplicării forței și locul fracturii</b> <b>După număr</b>	Directe	Apar în locul aplicării forței	
	Indirecte	Apar la distanță de la locul aplicării forței	
	Unice		
	Multiple	Mai mult decât o linie de fractură pe fundalul unuia și aceluiași os (figura 7.29)	
	Cominutive	Fracturi cu mai multe fragmente osoase (figura 7.29)	
	Simultane	Fracturi ale diferitor oase produse în același moment de timp (figura 7.29)	
<b>După traiectul fracturii</b>	<b>Complete:</b> fragmentele osoase sunt complet separate unul de altul	Direcția liniei de fractură	Transversală
			Oblică
			În spirală
			Longitudinală
			În formă de T, V, Y
	<b>Incomplete:</b> fragmentul fracturat nu este complet separat de restul segmentului osos	În "lemn verde"	Subperiostale
			Înfundate
			Tasate
			Fisuri



**Figura 7.23.** Direcția liniei de fractură:

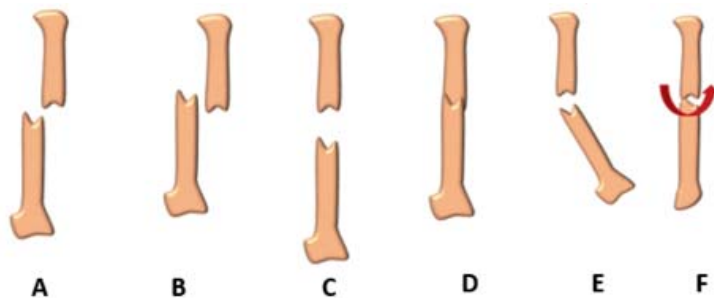
- A. Transversală.
- B. Oblică.
- C. Spiralată.
- D. Longitudinală.
- E. În formă de litera T.
- F. În formă de litera V.

Variantele deplasării fragmentelor osoase sunt prezentate în figurile 7.24, 7.28.

Pentru a aprecia vechimea fracturii, este necesar de știut evoluția fracturii în cazurile necomplicate. Aceasta include câteva etape (figura 7.25):

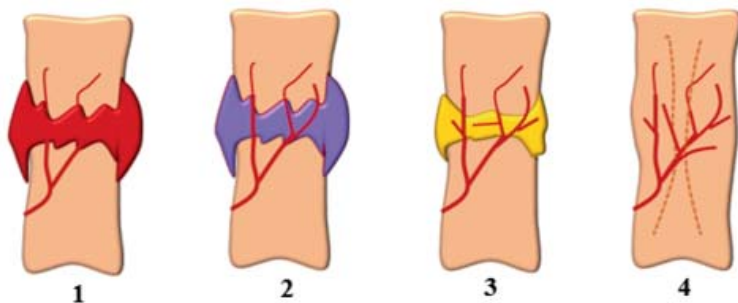
- I. Imediat după producerea fracturii are loc o hemoragie în locul acesteia și în câteva ore se formează un hematom. Faptul producerii hematomului are importanță pentru evoluția ulterioară favorabilă a fracturii; în cazul lipsei hemoragiei sau cheagului sangvin insuficient, consolidarea fracturii poate fi întârziată, legată de complicații sau incompletă. Dimensiunile viitorului calus osos sunt direct proporționale cu dimensiunile cheagului sangvin. Atât celulele osoase la nivelul marginilor fragmentelor proximal și distal ale osului, cât și microfragmentele posibile la nivelul liniei de fractură rămân fără aprovizionare cu sânge și elemente nutriționale și decedază.
- II. Se produce infiltrarea hematomului cu macrofagi, creșterea capilarelor, ceea ce duce la resorbția celulelor necrozate; are loc producerea fibrelor colagenoase și formarea în locul hematomului a calusului conjunctiv. La sfârșitul acestei etape, osteoblaștii încep formarea țesutului osos spongios.
- III. Numărul trabeculelor osoase se mărește și calusul conjunctiv se transformă în calus osos.

IV. Urmează remodelarea calusului osos și reconstrucția structurii inițiale a osului.



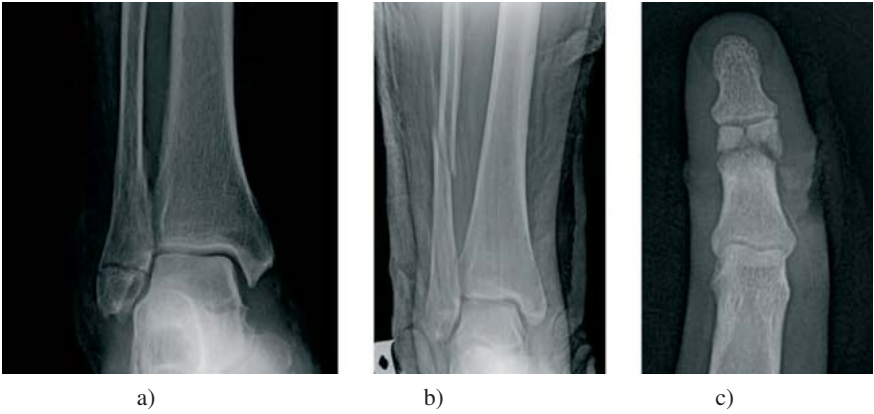
**Figura 7.24.** Deplasarea fragmentelor osoase:

- A. Laterală.
- B. Longitudinală prin alunecare.
- C. Longitudinală prin îndepărtare.
- D. Longitudinală prin angrenare.
- E. Angulară.
- F. Prin rotație.

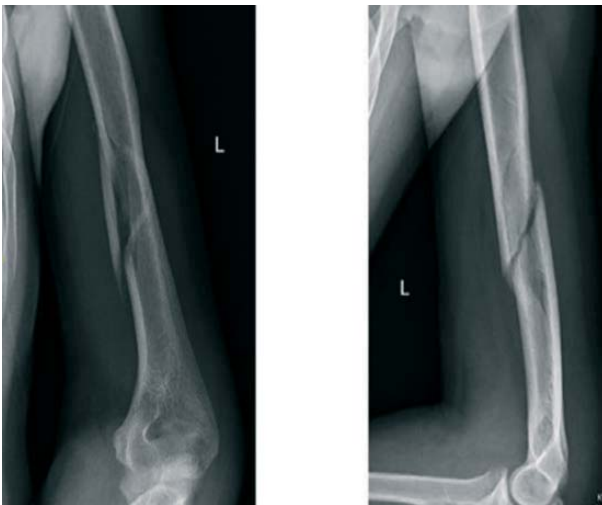


**Figura 7.25.** Schema etapelor evoluției necomplicate a fracturii:

- 1. Formarea hematomului.
- 2. Formarea calusului conjunctiv.
- 3. Formarea calusului osos.
- 4. Remodelarea osului.



**Figura 7.26.** Imaginea radiografică, fracturile recente: a) fractura de maleolă laterală, linia de fractură transversală; b) fractura de fibulă, linia de fractură oblică; c) fractura de falangă medie a degetului arătător, linia de fractură în formă de litera T.



**Figura 7.27.** Fractura de humerus, linia de fractură este spiralată.





a)

b)

**Figura 7.28.** Deplasarea fragmentelor osoase: a) fractura de claviculă, deplasarea fragmentelor este longitudinală prin alunecare; b) fractura de col al humerusului, deplasarea fragmentelor este longitudinală prin angrenare.



**Figura 7.29.** Fractura simultană a oaselor gambei: fractura cominutivă de tibie, fracturi multiple de fibulă

Hematomul la nivelul liniei de fractură nu este vizibil radiografic. Poate fi suspectat în baza tumefierii țesuturilor moi în jurul locului de fractură. O impresie despre vechimea fracturii poate oferi studierea atentă a marginilor fragmentelor osoase: în primele zile după producerea fracturii

acestea sunt neregulate, zimțate; pe parcursul absorbției celulelor marginale necrotizate acest aspect zimțat dispare, linia de fractură vizual se lărgește, densitatea osului la nivelul marginilor fragmentelor se diminuează.



**Figura 7.30.** Fracturi patologice vechi ale ulnei și radiusului.

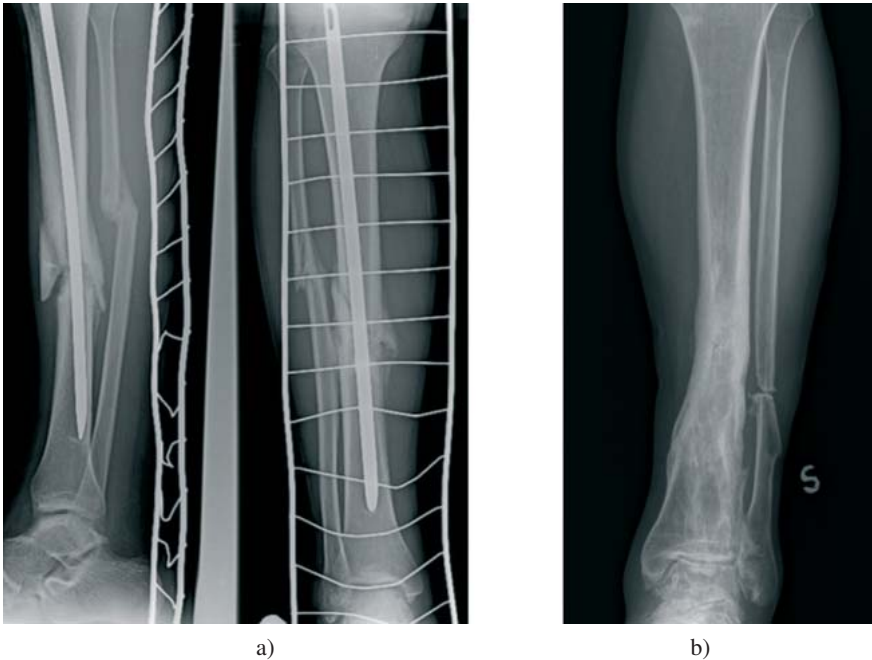
Calusul cartilagos, de asemenea, nu este vizibil radiografic. Semne vizibile de consolidare a fracturii apar odată cu apariția la nivelul lui a celulelor osoase. În cazul evoluției favorabile a fracturii, acest fenomen poate fi observat minimum peste 3 săptămâni după producerea fracturii, posibil și în perioada de 25-30 de zile. Primele semne vizibile apar sub formă de opacifiere ușoară, cu contur neclar, ca un "nouraș" la nivelul proiecției liniei de fractură.

Formarea completă de calus osos tipic are loc în perioada de 6-8 săptămâni după traumatism. Intensitatea umbrei calusului osos se mărește, contururile devin mai clare (figura 7.31).

Remodelarea completă a structurii osului durează câteva luni; în cazul traumatismului oaselor tubulare mari la adulți poate dura și până la 2 ani. Radiografic, densitatea acestei regiuni nu este mai mică decât densitatea osului normal, conturul clar, forma osului în regiunea traumatizată treptat se apropie de cea normală (complet sau incomplet, în funcție de deplasarea fragmentelor și calitatea reparației). În interiorul calusului apar trabecule osoase.

În unele cazuri, procesul vindecării fracturii se poate complica (figura 7.31). Complicațiile de bază sunt:

- Cele infecțioase: osteomielită, infecția țesuturilor moi;
- Osteonecroza posttraumatică;
- Anchiloza, în cazul fracturilor intraarticulare;
- Consolidarea întârziată a fracturii;
- Lipsa de consolidare;



**Figura 7.31.** a) fractura simultană veche de tibie și fibulă. La nivelul fibulei – consolidarea fragmentelor osoase în poziția inc corectă, se vizualizează calusul osos cu intensitatea aproape egală cu cea a osului, contur clar; la nivelul tibiei – re poziționarea cu ajutorul dispozitivului metalic, se vizualizează unele elemente de calus osos; b) fractură veche de fibulă, cu formare de pseudoarticulație la acest nivel. La nivelul tibiei, modificări ale structurii osoase în jumătatea distală (zone de osteoporoză și osteoscleroză cu repartizare neomogenă), dispariția canalului medular, deformarea osului face să presupunem că a avut loc o fractură și a tibiei, a cărei vindecare a fost complicată cu osteomielită.

- Formarea de pseudoarticulație. Aceasta poate fi suspectată radiografic în cazul în care calusul osos nu este vizibil, iar osul compact trece de pe marginea diafizei pe marginea fragmentelor osului fracturat;
- Consolidare în poziția anormală.

### 7.3.2. Particularitățile fracturilor în unele cazuri speciale

*Particularitățile fracturilor la copii.* Datorită elasticității sporite a oaselor, periostului mai gros și mai bine vascularizat și prezenței cartilajului de creștere, fracturile la copii în mod general se produc mai greu și se consolidează mai rapid decât la maturi. În cazul afectării unor componente

particulare ale scheletului copilului, însă, există riscul de dezvoltare a unor anomalii. Fracturile propriu-zise, caracteristice copilăriei, pot fi numite:



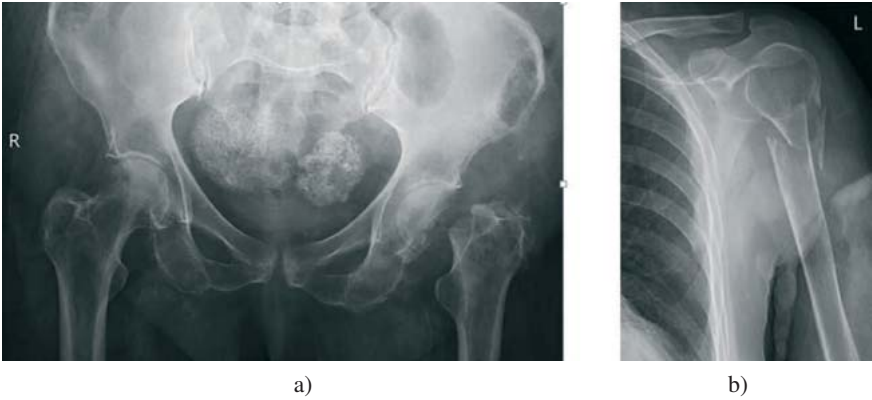
**Figura 7.32.** Fractura tipică ”în lemn verde” a radiusului din dreapta la copil: a) radiografia de față; b) radiografia de profil; c) radiografia de față a antebrațului stâng la același copil. Fiți atenți să nu confundați linia de fractură și cartilajul de creștere.

- ✓ Fracturile incomplete, subperiostale, ”în lemn verde” (figura 7.32). Sunt fracturi fără deplasarea fragmentelor sau cu o deplasare angulară ușoară. Întreruperea completă a integrității periostului și a osului cortical are loc numai dintr-o parte, din cealaltă parte a osului periostul îngroșat rămâne întreg și formează un ”pliu” pe locul fracturii, din care cauză în lipsa deplasării fragmentelor nu totdeauna putem vizualiza o linie transparentă clasică.
- ✓ În cazul în care linia fracturii nimereste în zona metaepifizară, se produce epifizeoliza.

*Particularitățile fracturilor la persoane vârstnice* (figura 7.33). Spre deosebire de perioada de copilărie, oasele la oamenii bătrâni, invers, sunt mai puțin elastice, conțin mai puțină apă, vascularizarea este mai proastă, ceea ce cauzează producerea mai ușoară a fracturilor și consolidarea lor mai îndelungată; mai frecvent se poate întâlni consolidarea întârziată și incompletă. În afară de cele expuse, pentru persoanele vârstnice sunt caracteristice:

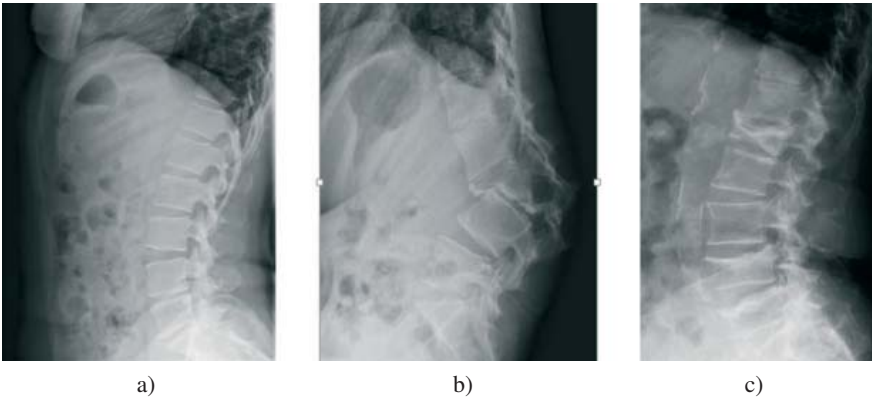
- Fracturi multifragmentare, ”în așchii”,
- Locuri ”preferate”, unde mai frecvent se produc fracturile:
  - ✓ Colul femurului;

- ✓ Colul humerusului;
- ✓ Vertebrele lombare;
- ✓ Partea distală a radiusului.



**Figura 7.33.** Fracturile caracteristice pentru pacienții în vârstă: a) fractura de col femural pe stânga; b) fractura multifragmentară de col al humerusului.

*Particularitățile fracturilor coloanei vertebrale.* Fracturile corpurilor vertebrelor se produc prin tasarea, care poate fi rapidă, sub acțiunea unei forțe directe sau indirecte, sau lentă, în cazul în care vertebra este deja afectată de osteoporoză, tumori primitive sau metastaze etc. Gradul de gravitate a traumatismului coloanei vertebrale se apreciază în corelație cu prezența sau absența interesării canalului vertebral. Incidența leziunii meningo-medulare este mai mare în cazul fracturilor arcului vertebral.



**Figura 7.34.** Radiografia de profil a vertebrelor lombare: a) vertebrele fără semne de fractură; b) și c) fractura de vertebre.

Radiografic, vertebra fracturată prin tasare are un aspect clinoidal, mai frecvent cu partea anterioară a corpului vertebrei cu un aspect mai îngust (figura 7.34). Radiografiile trebuie să fie efectuate în 3 incidențe (de față, de profil și oblică). Tomografia computerizată poate fi utilă pentru precizarea fracturii vertebrale și a consecințelor acesteia.

*Particularitățile fracturilor oaselor craniului.* Fracturile craniului pot fi divizate în fracturi de bolta craniană (figura 7.35), fracturi de bază a craniului și mixte.



**Figura 7.35.** Fractura oaselor bolții craniene.

Fracturile de bolta craniană constituie circa 80% din toate cazurile fracturilor craniene în timp de pace și pot fi caracterizate prin următoarele:

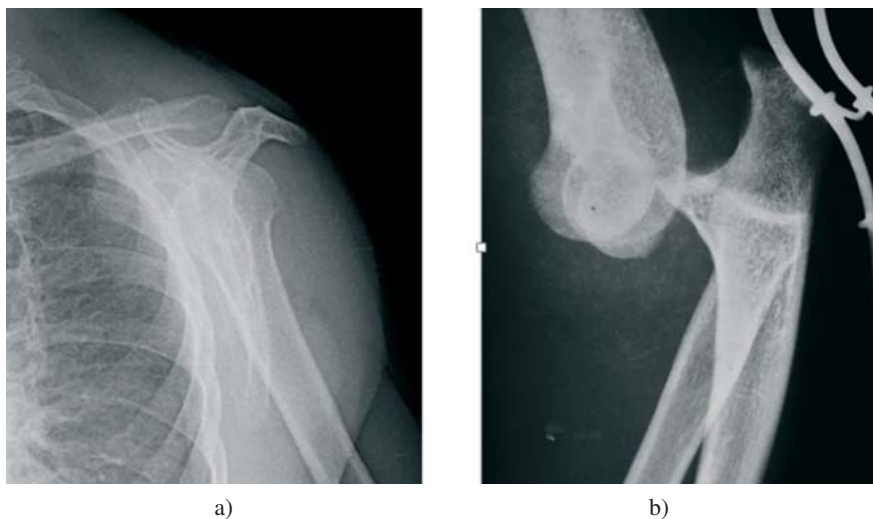
- Se produc mai frecvent în regiunea frontală și parietală, mai rar în regiunea temporală și occipitală;
- Sunt predominant fracturile liniare (unice, ramificate sau circulare);
- Sunt predominant incomplete;
- De regulă, sunt directe, adică apar în locul aplicării forței;
- Sunt însoțite de înfundarea segmentelor osoase;
- Pot implica suturile craniului, cauzând dehiscenta acestora;
- Fiind înfundate, cauzează lezarea țesuturilor adiacente, în funcție de localizarea fracturii: hemoragii, contuzii cerebrale, lezarea sinusurilor paranazale, a orbitei etc.

### 7.3.3. Diagnosticul radiologic în traumatismul articular

Leziunile traumatice ale articulațiilor includ luxații și subluxații.

**Luxația** este o dislocare persistentă a extremităților articulare ale oaselor cu pierderea congruenței lor și dereglarea funcției articulației. **Subluxația** reprezintă o luxație incompletă, când extremitățile articulare ale oaselor se deplasează, dar unele puncte de contact între suprafețele articulare se păstrează. Funcționarea articulației este dereglată.

Metoda imagistică de primă intenție în cazul luxațiilor este radiografia articulației în 2 incidențe perpendiculare. În cazul luxației complete se depistează pierderea completă a congruenței suprafețelor articulare (figura 7.36). Este necesar de apreciat sensul luxației, care este determinat de direcția de mișcare a epifizei distale în raport cu cea proximală.



**Figura 7.36.** a) luxația în articulația umărului; b) luxația în articulația cotului.

În cazul subluxației, are loc pierderea parțială a congruenței suprafețelor articulare, spațiul articular radiografic se prezintă parțial păstrat, poate să aibă un aspect clinoidal.

În cazul traumatismului articular se pot produce și fracturi intraarticulare. Acestea pot fi depistate radiografic.

Dar în cazul luxațiilor are loc și lezarea aparatului ligamentar, țesuturilor moi care formează articulația și care nu pot fi decelate radiografic și vor necesita investigația imagistică prin rezonanța magnetică. Investigația ultrasonografică, de asemenea, poate fi utilă în aceste cazuri.

## VIII. EVALUAREA IMAGISTICĂ A SISTEMULUI URINAR

### 8.1. ANATOMIA RADIOLOGICĂ NORMALĂ ȘI METODELE IMAGISTICE DE EXAMINARE A SISTEMULUI URINAR

#### 8.1.1. Anatomia radiologică normală a aparatului reno-urinar

Aparatul urinar include rinichii, ureterele, vezica urinară și uretra.

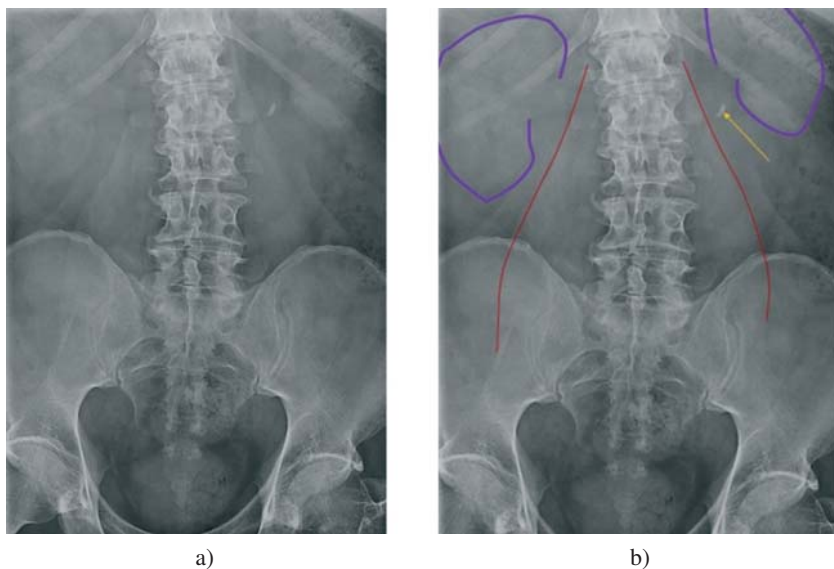
Rinichii reprezintă un organ pereche și sunt situați retroperitoneal, pe părțile laterale ale coloanei vertebrale, în fosele lombo-diafragmatice. Polul superior al rinichilor este situat la nivelul vertebrei T11-T12, iar cel inferior – la nivelul L2-L3. De obicei rinichiul stâng este situat cu 10-20 mm mai sus față de cel drept. Lungimea rinichiului este de 8-13 cm, în medie – 10-12 cm (se consideră că la adult ea este egală cu lungimea a circa trei vertebre lombare); lățimea – de 6-7 cm și grosimea – de 3-4 cm (așadar, grosimea rinichiului este de două ori mai mică decât lățimea, iar lățimea – de două ori mai mică decât lungimea). La persoanele sănătoase rinichiul drept poate fi mai mic decât cel stâng, dar diferența nu trebuie să depășească 1,5 cm.

Rinichii au o capsulă fibroasă proprie, fină, aderentă de parenchim, care pătrunde în sinusul renal, și sunt înconjurați de fascia perirenală. Spațiul dintre capsula renală și fascia perirenală este numit spațiul perirenal și conține o cantitate variabilă de grăsime, datorită căreia rinichiul poate să-și modifice poziția în loja sa (mobilitatea fiziologică) (de exemplu, se poate deplasa cu 3-4 cm odată cu respirația).

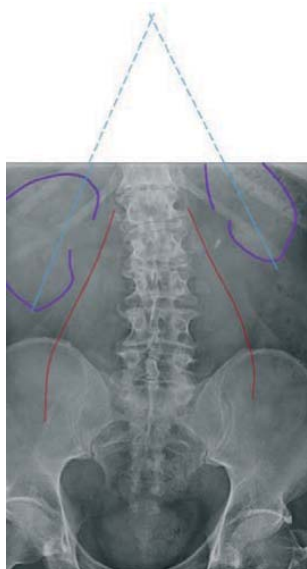
Axul longitudinal al rinichiului la adult este situat oblic față de coloana vertebrală și paralel cu cel al mușchiului psoas; polul superior al rinichiului este situat mai aproape de coloana vertebrală decât cel inferior, astfel axele longitudinale ale rinichilor, fiind prelungite imaginabil, formează un unghi, deschis spre inferior (convergența cranială) (figurile 8.1, 8.2). (Modificarea direcției axului renal reprezintă un semn patologic caracteristic anomaliei de dezvoltare.)

Forma rinichiului este ovală, asemănătoare bobului de fasole. Conturul lateral, superior și inferior este neted, bine delimitat; conturul medial este concav și include hilul renal.



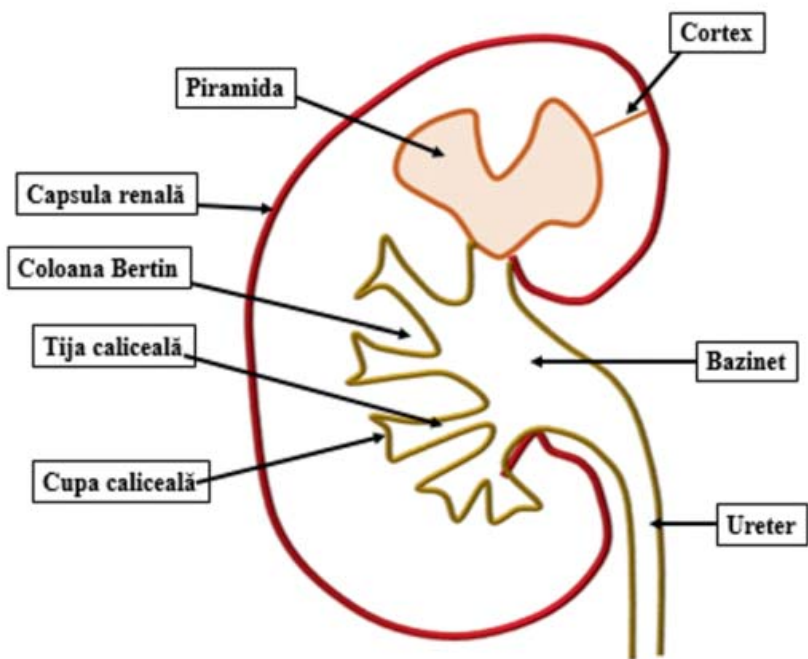


**Figura 8.1.** Radiografia reno-vezicală simplă, imaginea nativă (a) și cu indicarea schematică a conturului rinichilor și a mușchilor psoas (b). Săgeata arată calcul radiopozitiv cu localizarea cea mai probabilă în partea superioară a ureterului stâng.



**Figura 8.2.** Orientarea normală a axelor renale.

Căile excretorii includ sistemul pielo-caliceal, ureterul, vezica urinară și uretra. Sistemul pielo-caliceal la rândul său include cupe caliceale, fiecare dintre care este cuplată cu o piramidă renală, tije caliceale și bazinetul (pielon). Bazinetul are forma triunghiulară, la bază fiind o continuare a tijelor caliceale și la vârf se continuă cu ureterul (figura 8.3). Dimensiunile bazinetului normal sunt variabile, în funcție de forma de constituire, și pot conține de la 1-3 ml de urină (în localizarea intrarenală a bazinetului; în acest caz calicele sunt lungi și înguste) și până la aspectul unui poligon cu volumul de 10 ml de urină (bazinetul localizat extrarenal, calicele scurte și late). În hilul renal, sistemul colector este situat posterior față de structurile vasculare.



**Figura 8.3.** Structura renală (imagine schematică).

În perioada intrauterină, rinichiul este situat în regiunea pelvisului, cu bazinetul orientat spre exterior; pe urmă rinichiul urcă treptat spre loja lombodiafragmatică și în același timp suferă o rotație în jurul axului longitudinal, atingând localizarea și orientarea bazinetului spre medial, caracteristică adultului, spre vârstă de 4 ani. Până la vârstă de 10 ani polul inferior al rinichilor poate, însă, să fie situat la marginea osului iliac.

Ureterul are lungimea de 25-30 cm și diametrul transversal de 4-6 mm, neuniform de-a lungul lui. Diametrul mai mic este caracteristic pentru locația sfincterelor, și anume: în regiunea trecerii bazinetului în ureter, la trecerea ureterului în bazinul mic și intramural – la trecerea prin peretele vezicii urinare; acest ultim segment al ureterului este cel mai îngust. Sfincterele aprovizionează deplasarea unilaterală a urinei (în direcția distală). Ureterele se varsă în vezica urinară, care în mod normal are forma mai sferică la bărbați și mai ovală la femei și este situată deasupra marginii superioare a simfizei pubiene.

### 8.1.2. Metode imagistice de explorare a rinichilor și a căilor excretorii

Depistarea timpurie a afectării sistemului urinar este extrem de importantă și utilizează practic toate metodele imagistice. Cele de bază sunt radiologice, ultrasonografice și metodele medicinei nucleare. De obicei, în prezent investigația unui pacient cu suspiciune de patologie a aparatului reno-urinar începe cu ultrasonografia, care reprezintă metoda de primă elecție. Ulterior se efectuează urografia intravenoasă (UIV) și scintigrafia renală. În cazul în care după efectuarea acestor investigații rămân unele aspecte neelucidate, se indică alte investigații radiologice convenționale cu substanță de contrast (angiografia, pielografia ascendentă etc.), tomografia computerizată, investigația imagistică prin rezonanță magnetică.

Metodele radiologice de bază pentru examinarea rinichilor și a căilor excretorii includ radiografia abdominală pe gol și urografia intravenoasă.

Radiografia abdominală pe gol în cazul investigației pacientului cu suspiciune de patologie a sistemului urinar se efectuează în decubit dorsal și în acest caz poartă denumirea de **radiografie reno-vezicală simplă** (figura 8.4). Volumul clișeului trebuie să includă superior – ultimele două coaste (ca să fie inclus nivelul proiecției polului superior al rinichiului) și inferior – simfiza pubiană. Pe acest clișeu nativ pot fi apreciate:

- Bordurile externe ale mușchilor psoas, care pot fi vizibile de la Th12-L1 și până la creasta iliacă.
- Umbrele renale, care permit evaluarea conturului rinichilor, poziția și dimensiunile lor.
- Calcificări patologice atât în proiecția aparatului reno-urinar, cât și în afara acestuia (figura 8.5). Uneori evidențierea calcificărilor necesită efectuarea radiografiilor în proiecții oblice.



**Figura 8.4.** Radiografia reno-vezicală simplă.



a)



b)

**Figura 8.5.** Radiografia reno-vezicală simplă. Calculi radiopozitivi: a) calculi coraliformi bilateral; b) calcul solitar de dimensiuni mari localizat în vezica urinară.

- Prezența și cantitatea conținutului gazos, cu localizarea atât fiziologică, cât și eventual patologică. Cantitatea conținutului gazos în ansele intestinale reflectă, de asemenea, calitatea pregătirii pacientului pentru urografia intravenoasă.

- Unele malformații congenitale (de exemplu, a vertebrelor), corpi străini etc.

Radiografia reno-vezicală simplă de obicei reprezintă primul clișeu radiografic efectuat în cadrul urografiei intravenoase.

**Urografia intravenoasă** reprezintă investigația efectuată cu administrarea substanțelor de contrast iodate și oferă informație privind morfologia și funcția renală și morfologia căilor excretorii.

Ca pregătire pentru investigație, este recomandată efectuarea clismelor de curățare seara în ajun și în dimineața zilei de investigație. Pregătirea necalitativă a pacientului pentru investigație (cantitatea mare de gaze în ansele intestinale) diminuează, uneori cu mult, calitatea vizualizării și duce la greșeli diagnostice. La persoane tinere și cu motilitatea normală cunoscută a tubului digestiv investigația poate fi uneori efectuată fără pregătire specială. Pacientul se prezintă la investigație pe gol și după golirea vezicii urinare.

Se efectuează radiografia reno-vezicală simplă, după ce pacientului i se introduce intravenos substanța de contrast, și în mod ”standard” se efectuează clișeele radiografice la 5-7 minute, 12-15 minute și 30 de minute după introducerea contrastului, ultima radiografie fiind efectuată în poziția verticală a pacientului cu scopul evaluării mobilității rinichilor și evidențierii cazurilor de nefroptoză. Termenele ”standard” de efectuare a radiografiilor sunt orientative și în realitate pot varia. Investigația se efectuează sub controlul permanent al medicului radiolog, care alege momentul efectuării următoarei radiografii în dependență de funcția aparatului excretor. Ureterele, în mod normal, în timpul urografiei intravenoase nu se opacifiază complet, ci pe segmente, în funcție de peristaltismul lor fiziologic (figura 8.6).

**Pielografia ascendentă (sau pielografia retrogradă)** se indică în cazul în care este necesară evaluarea minuțioasă a bazinețului și calicelor, dar vizualizarea acestora prin urografia intravenoasă nu este calitativă (în special, în caz de eliminare diminuată a substanței de contrast). Substanța de contrast se introduce prin cateter, plasat retrograd în unul din uretere (pielografia ascendentă bilaterală nu se practică, pentru a evita complicațiile inflamatorii). Metoda permite evaluarea minuțioasă a sistemului pielo-caliceal, utilizând o cantitate minimală (5-10 ml) de substanță de

contrast. Fiind invazivă, legată de riscul infectării căilor urinare, investigația se efectuează în baza unor indicații limitate și este contraindicată în cazul proceselor inflamatorii acute ale rinichilor și căilor urinare sau în macrohematurie. În ultimii ani, metoda practic este înlocuită cu tomografia computerizată.



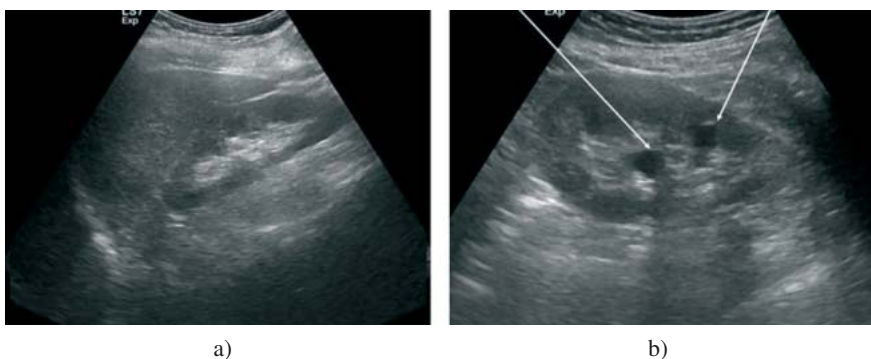
**Figura 8.6.** Urografia intravenoasă. Aspect normal al căilor excretorii.

**Ultrasonografia** este metoda cu care de obicei începe investigația unui pacient cu suspiciune de patologie renală, datorită avantajelor cunoscute ale acesteia precum accesibilitatea, informativitatea și inofensivitatea pentru pacient. Pe baza rezultatelor investigației ultrasonografice deseori se stabilește strategia diagnostică de mai departe. Dacă investigația se efectuează în mod planic, pacientul este rugat timp de 3 zile să respecte regim alimentar cu excluderea produselor gazogene, să se prezinte la investigație pe nemâncate, iar nemijlocit înainte de investigație să folosească 400-500 ml de lichid cu scopul umplerii vezicii urinare, ceea ce permite examinarea acesteia și a structurilor adiacente.

Ultrasonografia este o metodă tomografică și permite, prin mișcarea și

rotația transductorului, obținerea diferitor planuri de secțiune (longitudinal, sagital, transversal, oblic).

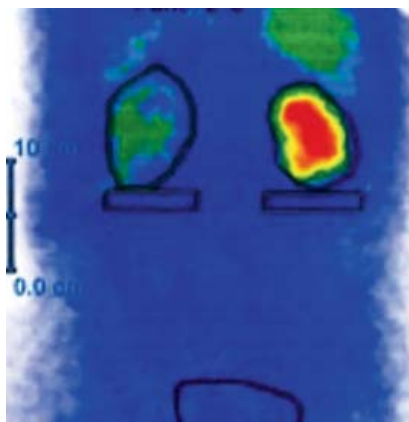
Rinichiul normal ultrasonografic are forma ovală și ecogenitatea neuniformă. Poate fi evidențiată capsula renală subțire, hiperecogenă și țesut adipos perirenal, hipoecogen. Spre interior de la conturul hiperecogen al capsulei renale se vizualizează parenchimul renal, normoecogen, care în mod normal se caracterizează prin ecogenitate puțin mai scăzută decât cea a ficatului și a splinei. Bazinetul și calicele renale ocupă partea centrală, au pereții hiperecogeni, dar în cazul colecțiilor patologice de urină (dilatarea sistemului pielo-caliceal, chisturi etc.), acestea apar hipo- sau anecogene (figura 8.7). Investigația ultrasonografică permite evidențierea și cuantificarea calculilor, maselor renale, dilatării sistemului excretor. Metoda nu are contraindicații, însă la pacienții obezi sau cei cu conținut excesiv de gaz în cavitatea abdominală scade, uneori mult, calitatea imaginii și, respectiv, informativitatea investigației.



**Figura 8.7.** Investigația ultrasonografică a rinichilor: a) aspect ultrasonografic normal, rinichiul stâng (vedeți parenchimul renal, care apare mai puțin ecogen, și sistemul pielo-caliceal, care apare puțin hiperecogen, ambii în comparație cu ecogenitatea splinei); b) formațiuni lichidiene (chisturi) (săgeți).

**Investigația cu radionuclizi** a rinichilor se indică pentru examinarea funcției lor și permite evidențierea dereglărilor funcționale la stadii precoce. Este accesibilă și poate fi indicată pacienților cu reacții adverse la substanțe de contrast, folosite pentru investigații radiologice. Cei mai utilizați izotopi radioactivi sunt Tc-99m glucoheptomat sau Tc-99m DTPA, sau I-131 Hippuran, care se elimină masiv pe cale urinară. Actualmente se efectuează înregistrarea simultană a imaginii scintigrafice, sub forma unei hărți morfofuncționale renale (figura 8.8) și a renografiei (curbelor renale) (figura 8.9). Harta scintigrafică permite evidențierea defectelor de fixare

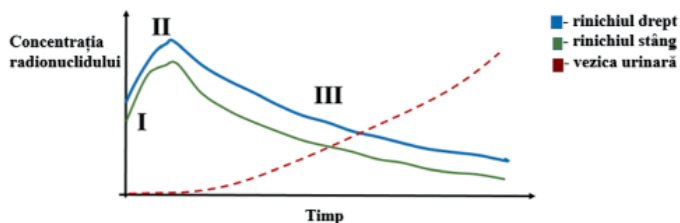
a izotopului radioactiv (focare reci) în caz de tumoare, chist, abces etc.; poate evidenția diminuarea dimensiunilor (rinichi ratatinat, hipoplazie). Curbele renale sunt și mai importante. Ele reflectă funcția renală la toate etapele procesului de formare și eliminare a urinei. Curba renală reprezintă un grafic și include trei segmente, fiecare din acestea reflectând o etapă: segmentul I se numește segmentul vascular, este un segment ascendent, scurt, cu ascensiune bruscă, rapidă și reflectă livrarea preparatului radioactiv în rinichi prin circulația sangvină. Al doilea segment se numește segmentul de acumulare (fixare/secreție), reflectă trecerea izotopului radioactiv din sânge în urină, este, de asemenea, scurt și ascendent, dar cu o ascensiune lentă, nepronunțată. Al treilea este segmentul excretor (de eliminare): urina ce conține izotopul radioactiv se elimină din rinichi în vezica urinară. Acest segment este cel mai lung și progresiv descendent (urina se îndepărtează de la detectorii situați în proiecția rinichilor).



**Figura 8.8.** Scintigrafia renală. Rinichiul drept arată fixarea aproape normală a preparatului radiofarmaceutic; la nivelul rinichiului stâng – o hipofixare pronunțată la nivelul întregului rinichi.

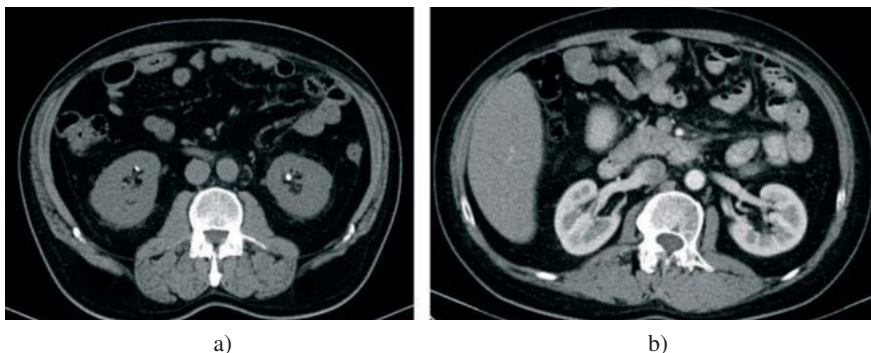
Așadar, curbele renale pot reflecta dereglări la toate etapele procesului de eliminare: starea arterelor renale, secreția, excreția (figura 8.9). Investigația cu radionuclizi a rinichilor este indicată pentru evaluarea stării funcționale a acestora atât în cazul diagnosticului primar al diferitor patologii (dereglări vasculare, masele renale, sindrom obstructiv, insuficiența renală etc.), cât și pentru supravegherea dinamică pe fundalul tratamentului, evaluarea funcției transplantului renal.





**Figura 8.9.** Curbele renale normale și segmentele lor: I – Segment vascular, II – Segment de acumulare (filtrare/secreție), III – Segment de eliminare (excreție).

*Tomografia computerizată* a extins în mod semnificativ posibilitățile evaluării morfologiei rinichilor, a vezicii urinare și a prostatei (figura 8.10). Investigația nu necesită pregătire specială. Indicația principală pentru efectuarea CT în patologia aparatului urinar este diagnosticarea și evaluarea maselor renale. În cazul tumorilor maligne, metoda poate fi considerată practic exclusivă pentru evaluarea extinderii tumorii și stadializarea procesului tumoral (analiza neo-formațiunii propriu-zise, a nodulilor limfatici, vaselor renale, venei cave inferioare, a rinichiului contralateral).



**Figura 8.10.** Tomografia computerizată, secțiunea la nivelul rinichilor (diferiți pacienți): a) fără substanța de contrast, se vizualizează calculi mici în sistemul pielo-caliceal bilateral; b) cu substanța de contrast.

Tomografia computerizată a aparatului urinar poate fi, de asemenea, indicată cu scop de:

- Diagnostic și supraveghere în cazul traumatismului renal;
- Diagnostic și supraveghere a patologiei renale de origine infecțioasă cu evoluție nefavorabilă pe fundalul tratamentului indicat (de ex., pielonefrită acută cu evaluarea spre abscedare);
- Evaluarea vaselor renale;

- Evaluarea glandelor suprarenale;
- Evaluarea proceselor patologice retroperitoneale (vasculare, ale ganglionilor limfatici, formațiuni de volum, fibroză);
- Bilanțul preoperator în cazul formațiunilor de volum ale vezicii urinare sau prostatei.

Investigația *imagistică prin rezonanță magnetică* evidențiază mai bine limita dintre stratul cortical și cel medular al rinichilor și permite obținerea diferitor planuri reale de secțiuni, însă în patologia aparatului urinar se indică mai rar. Inițial indicațiile au fost limitate, cea de bază fiind evaluarea extinderii maselor trombotice de origine tumorală în vena cavă inferioară. Indicațiile actuale, în afară de cea de mai sus, includ:

- Evaluarea formațiunilor de volum renale, în special celor atipice, în cazul cărora rezultatele investigației ultrasonografice și ale CT nu au permis diagnosticul precis;
- Bilanțul extinderii proceselor de volum;
- Evaluarea detaliată a căilor excretorii;
- Evaluarea formațiunilor de volum ale vezicii urinare sau prostatei (IRM permite o mai bună evaluare a peretelui vezicii urinare, o mai bună diferențiere între capsula și parenchimul prostatei).

## **8.2. SEMIOLOGIA RADIOLOGICĂ A AFECȚIUNILOR SISTEMULUI URINAR**

Semiologia radiologică a afecțiunilor aparatului reno-urinar include modificările morfologice și funcționale, congenitale și dobândite.

### **8.2.1. Modificările morfologice ale rinichilor**

*Anomaliile de număr* includ mărirea și micșorarea numărului de rinichi. Cazurile de mărire a numărului includ rinichi supranumerar (cel de al treilea rinichi complet separat, ectopic, ceea ce se întâlnește foarte rar) și cazuri de rinichi dublu (există masa parenchimatosa comună, cu dimensiuni mai mari decât în cazul rinichiului obișnuit, cu capsula comună, dar cu două sisteme pielo-caliceale separate, mai frecvent inegale (de obicei, bazinetul superior este mai mic decât cel inferior) și două uretere, care se pot uni la distanță diferită de la bazinet (și atunci este vorba despre duplicitatea reno-ureterală incompletă) (figura 8.11), sau pot merge separat și se conectează cu vezica urinară prin două orificii diferite (și atunci este vorba despre duplicitatea reno-ureterală completă).

Cazuri de micșorare a numărului rinichilor se întâlnesc mai frecvent decât rinichiul supranumerar și includ situații dobândite (post-chirurgicale, după diferite indicații) și congenitale: agenezia renală (absența completă, inclusiv absența arterei renale), aplazia renală (există mugure embrional renal rudimentar, nefuncțional, degenerat chistic, cu o arteră renală hipoplazică, dar existentă, căile excretorii nedezvoltate (ureterul orb)). Diagnosticul diferențial cel mai sigur între aplazia și agenezia renală se efectuează prin confirmarea sau excluderea existenței arterei renale (angiografia renală).

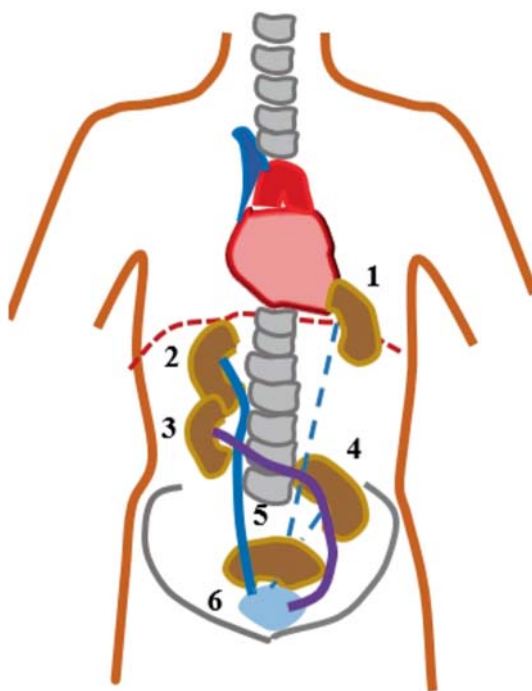


**Figura 8.11.** Urografie intravenoasă. Duplicitatea reno-ureterală incompletă din stânga. Pregătirea pacientului pentru investigație nu este satisfăcătoare, se observă o cantitate mare de gaz în ansele intestinale.

*Anomaliile de sediu* ale rinichilor includ ectopii (distopii) și malrotații. În cazul ectopiei rinichiul nu este situat la locul obișnuit. Se evidențiază ectopia caudală (joasă), ectopia cranială (înalță) și ectopia încrucișată. În caz de ectopie caudală rinichiul este situat mai jos față de normă: ectopia lombară – rinichiul este situat în regiunea lombară, dar mai caudal față de poziția normală, bazinetul de obicei este situat pe suprafața anterioară a rinichiului, ureterul pleacă din partea laterală a bazinetului; ectopia pel-

viană (cea mai frecventă) – rinichiul este situat în regiunea pelviană cu sistemul pielo-caliceal mai jos de creasta iliacă, are ureter scurt. Necesită diagnosticul diferențial cu nefroptoza, în care ureterul este de o lungime normală, dar ondulat. Ectopia cranială este rară, implicând rinichiul intratoracic (mai frecvent, este cel stâng). Și ectopia joasă, și cea înaltă poate fi directă, în cazul în care rinichiul, fiind deplasat cranial sau caudal, păstrează poziția sa din dreapta sau din stânga față de coloana vertebrală. În caz de ectopie încrucișată, rinichiul se dezvoltă din partea opusă a coloanei vertebrale, de obicei este situat mai lombar față de rinichiul care se află ”la locul său”. Așadar, ambii rinichi sunt situați unilateral, însă orificiile ureterale la intrare în vezica urinară au sediu normal și ureterul rinichiului ectopic încrucișează coloana vertebrală (figura 8.12).

Rinichii ectopici deseori prezintă anomalii pielo-caliceale, pot fi hipoplazici, hipofuncționali; artera renală este, de asemenea, ectopică, corespunzător formei de ectopie.



**Figura 8.12.** Ectopiile renale (schemă): 1 – ectopia toracică; 2 – rinichi normal; 3 – ectopia încrucișată; 4 – ectopia lombară; 5 – ectopia pelviană; 6 – vezica urinară.

În caz de nefroptoză, gradul acesteia se apreciază în ortostatism, luând ca reper poziția polului inferior al rinichiului: dacă polul inferior este situat mai jos de nivelul L3-L4, dar mai sus de creasta iliacă, este vorba despre nefroptoză de gradul I; dacă polul inferior renal este mai jos de creasta iliacă, iar sistemul pielo-caliceal este mai sus – de gradul II; iar dacă și sistemul pielo-caliceal este mai jos de creasta iliacă – de gradul III (figura 8.13).



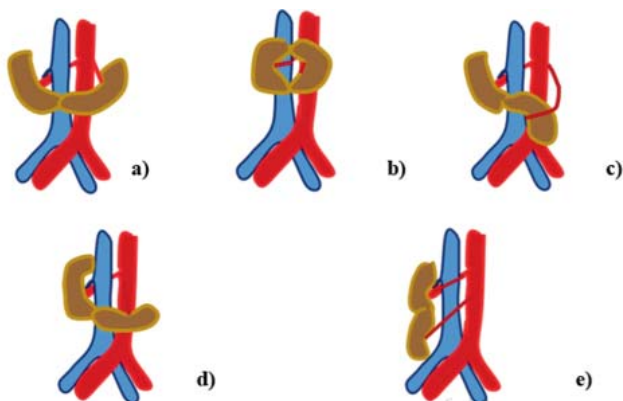
**Figura 8.13.** Nefroptoză de gr. II bilateral. Ureterele au aspect ondulat.

Malrotația rinichiului se întâlnește în cazul în care procesul de rotație a rinichiului în jurul axului longitudinal nu este finisat și se recunoaște după poziția bazinetului. Fiind în mod normal orientat medial, în malrotație bazinetul este orientat în plan frontal (anterior sau posterior), cu formarea ureterului în mijlocul masei renale; uneori bazinetul poate fi orientat spre exterior. Patologia poate fi uni- sau bilaterală. Arterele renale pot fi multiple și pot avea traiectoria atipică.

Anomaliile de formă ale rinichilor includ persistența lobulației fetale

(la pacienții în vârstă mai mare de 4 ani, rinichi cu contur boselat, însă cu vascularizare normală, structura normală a sistemului pielo-caliceal și funcție normală) și fuziunea renală. Rinichii pot fi fuzionați la nivelul polului superior sau inferior (mai frecvent), printr-un istm fibros sau parenchimos.

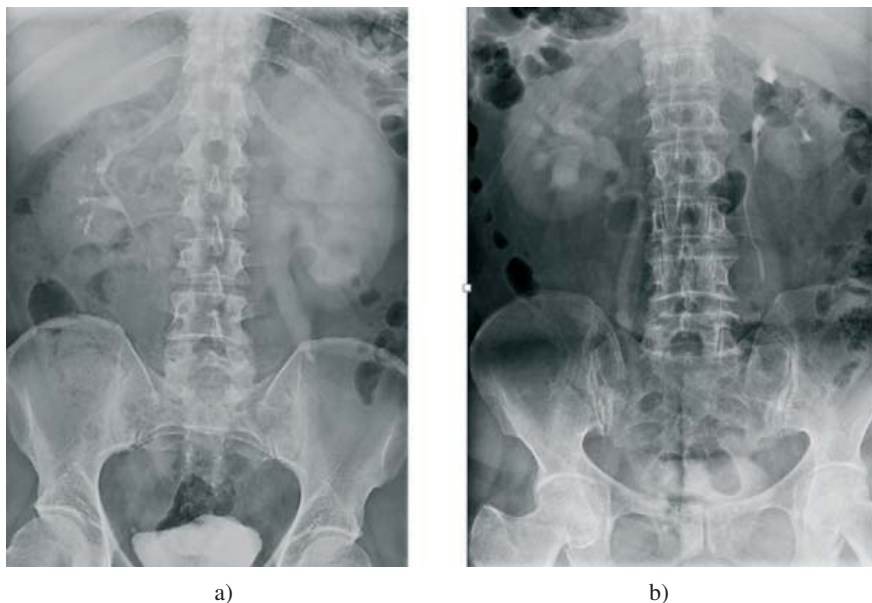
Se evidențiază fuziunea bilaterală simetrică: rinichi în potcoavă (rinichii sunt concreșcuți cu un pol, mai frecvent, cel inferior, dar pot să fie și cu cel superior), rinichi în formă de galeată (rinichii sunt concreșcuți cu suprafețele mediale); bilaterală asimetrică (rinichi în formă de litera S: are loc concreșterea polului inferior al unui rinichi cu polul superior al altuia; rinichi în formă de litera L: polul inferior al unui rinichi situat normal este concreșcut cu polul inferior al altui rinichi, dar situat orizontal); unilaterală asimetrică (rinichi în formă de litera I) (figura 8.14). Suspiciunea de fuziune renală poate apărea dacă axele renale nu au orientare normală (adică, nu formează un unghi deschis spre inferior).



**Figura 8.14.** Fuziunea renală (schemă): a) rinichi în potcoavă, b) rinichi în formă de galeată, c) rinichi în formă de litera S, d) rinichi în formă de litera L, e) rinichi în formă de litera I.

**Conturul rinichiului** în mod normal este regulat. El rămâne, de asemenea, regulat în afecțiunile renale difuze, pe când dimensiunile rinichiului pot fi mărite sau micșorate. Modificarea conturului poate fi, de ex., în ”plus” de contur, ca bombare sau boselură, sau în ”minus”: ancoșă (retracție unghiulară), depresiune (retracție cu extinderea mai mare decât ancoșa, care, de regulă, este asociată și cu reducerea indicelui parenchimos). Boselura solitară poate fi și o variantă de dezvoltare normală în cazul

rinichiului "dromader", atunci ea este situată mai frecvent în 1/3 medie a rinichiului stâng, indicele parenchimos este normal. În patologie, boselura solitară poate fi depistată în cazul formațiunilor de volum cum sunt chisturile solitare sau tumorile. Modificările prin "minus" de contur pot apărea datorită persistenței lobulației fetale, hipoplaziei segmentare, unei cicatrici postinflamatorii sau posttraumatice.

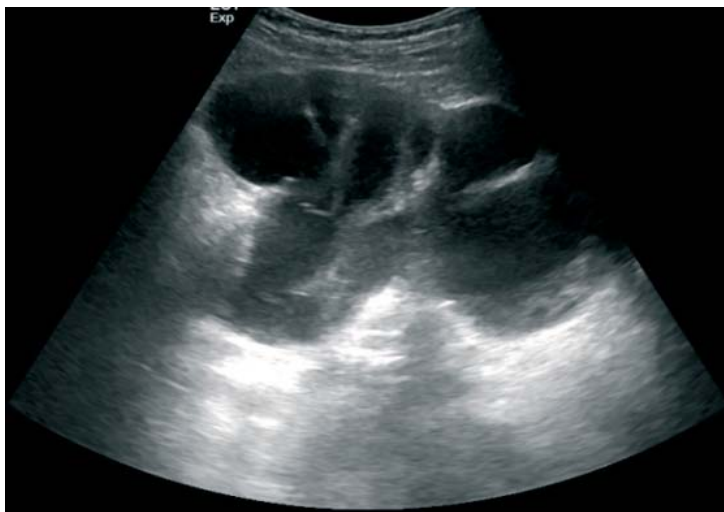


**Figura 8.15.** Urografia intravenoasă. Sindrom hidronefrotic: a) rinichiul stâng; b) rinichiul drept.

În *sindromul de formațiune parenchimosă renală* pot fi observate următoarele modificări imagistice: dereglări de contur al rinichiului (boselare); modificările indicelui parenchimos; modificări variabile ale sistemului pielo-caliceal, în funcție de localizarea precisă și extinderea formațiunii de volum: amprente pe calice și bazinet, amputarea calicelor, alungirea calicelor, dezorientarea, deplasarea calicelor și a bazinetului, dilatarea segmentelor excretorii proximale celor compresate prin formațiune de volum; ultrasonografic se depistează zone cu modificarea ecogenității față de structurile renale normale (de exemplu, zone anecogene în cazul chisturilor lichidiene).

În *sindromul hidronefrotic* are loc dilatarea progresivă a sistemului pielo-caliceal (figurile 8.15, 8.16), cauzată de obstrucția căilor urinare (atât

dobândită, cât și congenitală) și urmată de atrofia progresivă a parenchimului renal până la o completă afuncționalitate (rinichi mut).



**Figura 8.16.** Ultrasonografie. Hidronefroză stadiul IV. Parenchimul renal nu se detectează. Imaginea rinichiului reprezintă, de fapt, imaginea cavităților lichidiene de dimensiuni mari.

Se evidențiază 4 stadii de hidronefroză:

- Stadiul I: dilatare moderată a sistemului pielo-caliceal, cu păstrarea parenchimului renal, funcția rinichiului nu este afectată;
- Stadiul II: dilatarea importantă a sistemului pielo-caliceal, balonarea bazinetului, rinichi mărit în volum cu 15-20%, funcția rinichiului este moderat diminuată;
- Stadiul III: dilatare importantă a calicelor și bazinetului, forma poate fi încă păstrată; parenchimul renal subțiat considerabil până la atrofie, funcția este diminuată considerabil;
- În stadiul IV, sau stadiul terminal, parenchimul este dispărut, rinichiul este nefuncțional. La urografia excretorie nefrograma practic lipsește. În acest caz evaluarea informativă a sistemului pielo-caliceal va fi posibilă cu ajutorul ultrasonografiei sau tomografiei computerizate.



## 8.2.2. Modificările funcționale ale sistemului urinar

Funcția aparatului urinar se apreciază cu ajutorul urografiei intravenoase sau metodelor medicinei nucleare și include aprecierea nefrogramei și urogramei. În mod normal, nefrograma (aparitia substanței de contrast în parenchimul renal) apare simetrică bilateral și este vizibilă de la primul minut după injectarea substanței de contrast sau preparatului radiofarmaceutic. Urograma este, de asemenea, simetrică și apare începând cu al treilea minut (cel mai târziu – la 5 minute) după injectare. Afectarea funcției aparatului urinar poate fi cauzată de probleme apărute la unul sau mai multe din trei niveluri: vascular (ischemia renală acută sau cronică, cauzată de stenozare sau tromboza arterelor renale); afectarea parenchimului renal, de ex., în procesele inflamatorii acute sau cronice; sau sindromul de obstrucție a căilor excretorii cu posibilă localizare la orice nivel al acestora.

Așadar, apariția întârziată a nefrogramei poate fi cauzată de dereglări de perfuzie (cauze prerenale) sau afectarea parenchimului renal; în aceste cazuri urograma, secundar, va apărea, de asemenea, întârziată. Diagnosticul diferențial între sindromul vascular sau parenchimos renal în unele cazuri se va stabili definitiv doar prin angiografia arterelor renale. În cazurile în care nefrograma apare normal, iar urograma apare cu diferit grad de întârziere (sau în general nu apare), putem admite sindromul obstructiv de diferit grad la diferite niveluri ale căilor excretorii. Dacă au loc dereglări de perfuzie, intensitatea nefrogramei rinichiului afectat va fi redusă, iar în sindromul obstructiv – mai intensă față de normal, ceea ce va apărea mai evident în caz de afectare unilaterală. În cazul în care substanța de contrast nu apare în sistemul pielo-caliceal al unui rinichi, pe când în rinichiul contralateral ea a trecut toate fazele eliminării până la eliminarea completă din organism, rinichiul afectat este numit ”rinichi mut urografic”.

## BIBLIGRAFIA

1. Adam A., Dixon A.K. Grainger & Allison's Diagnostic Radiology. 5th edition. Churchill Livingstone. Vol. 1. 2008.
2. Adam A., Dixon A.K. Grainger & Allison's Diagnostic Radiology. 5th edition. Churchill Livingstone. Vol. 2. 2008.
3. Badea R., Ducea S., Mircea P., Stamatian F. Tratat de ultrasonografie clinică. Vol. 1. Editura medicală. București, 2011.
4. Badea R., Ducea S., Mircea P., Zdrenghea D. Tratat de ultrasonografie clinică. Vol. 2. Editura medicală. București, 2014.
5. Brant W., Helms C. Fundamentals of diagnostic radiology. 4<sup>th</sup> edition. 2012. Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, PA, USA.
6. Buruian M. Ghid practic de radiologie medicală. Vol. 1. 2006.
7. Buruian M. Ghid practic de radiologie medicală. Vol. 2. 2006.
8. Bushberg J et al. The essential physics of medical imaging. Lippincott Williams & Wilkins Philadelphia, PA, USA. 2002.
9. Cowling M. et al. Vascular Interventional Radiology. Springer. Berlin, 2007.
10. Feigenbaum H., Armstrong W.F., Ryan T. Feigenbaum's echocardiography. 6th edition. Lippincott, Williams and Wilkins, 2005. 511 p.
11. Gang G. et al. Anatomical background and generalized detectability in tomosynthesis and cone-beam CT. Medical Physics, Vol. 37, No. 5, May 2010, p. 1948-1965.
12. Georgescu Ș. ș.a. Radiologie și imagistică medicală. Editura universitară "Carol Davila", București, 2009.
13. Herring W. Learning Radiology. 3rd edition, Elsevier, 2016.
14. Lee W. Goldman. Principles of CT: Multislice CT. J Nucl Med Technol 2008; 36:57-68.
15. Malîga O., Rotaru N., Obadă A. Imagistica medicală în tabele și algoritme. Recomandări metodice. Chișinău, 2013.
16. Mettler F.A. Jr., Guiberteau M.J. Essentials of Nuclear Medicine Imaging, 5th edition. 2006. Elsevier's Health Sciences, Philadelphia, PA, USA.
17. Misra R., Planner A., Uthappa M. A-Z of Chest Radiology. Cambridge University Press, 2007.
18. Păscuț M. Curs de radiologie și imagistică medicală. Universitatea de Medicină și Farmacie "Victor Babeș", Timișoara, 2008.

19. Sutton D. Textbook of Radiology and Imaging. Volume I. Elsevier Science, 2003.
20. Sutton D. Textbook of Radiology and Imaging. Volume II. Elsevier Science, 2003.
21. Ziessman H.A., O'Malley J.P., Thrall J.H. Nuclear medicine: the requisites, 3rd edition. 2006.
22. Vignaux O et al. Imagerie cardiaque: scanner et IRM. Paris, Masson, 2011.
23. Илясова Е.Б., Чехонацкая М.Л., Приезжева В.Н. Лучевая диагностика: учебное пособие. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009.
24. Чадаев В.А. и др. Латерализующий интракаротидный тест Вада в прехирургической диагностике эпилепсии. Детская больница, 2011 №1, стр. 28-30.