

Imaginea digitală Imagini digitale medicale



Conținut

- Definiție
- Digitizarea imaginii:
 - Eșantionare
 - Cuantizare
- Puterea de separare
- Capacitatea de percepție vizuală umană
- Conversia analog-digital
- Pixelul și analogi
- Imaginea digitală medicală



Definiție

- = o reprezentare a unei imagini reale bi-dimensionale (imagine în "2D"), ca o mulțime finită de valori digitale numite *elementele imaginii* sau *pixeli*
- Imagini reale = tip analog → imagine digitală



Digitizarea imaginii analog

1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)
2. Discretizarea domeniului în care funcția ia valori (cuantizare)



1. Discretizarea domeniului de definiție

- **Eșantionare**
 - Teorema eșantionării *Nyquist–Shannon* (*Whittaker–Shannon–Kotelnikov*, *Whittaker–Nyquist–Kotelnikov–Shannon*):
 - Teoria informației: telecomunicații și procesarea semnalelor
 - Eșantionarea este procesul de conversie a semnalului (care poate fi de exemplu o funcție continuă în timp sau spațiu) într-o secvență numerică (o funcție discretă în timp sau spațiu)



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

- Transformare reversibilă
- Are ca scop discretizarea domeniului de definiție al semnalului
- Eșantionare → aproximare a semnalului original



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

- Procesul de eșantionare:
 - Semnalul continuu (timp/spațiu) este convertit în semna discret (timp/spațiu)
 - Reconstrucția: semnalul continuu original (timp/spațiu) este obținut din semnalul discret (timp/spațiu)
 - Semnalul continuu: variază în timp sau spațiu (T)
 - Semnalul discret: măsurarea valorii semnalului continuu la fiecare T unități de timp (sau spațiu) = intervalul de eșantionare
 - Semnale funcție de timp: intervalul de eșantionare e îngust (milisecunde, microsecunde)



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

- Procesul de eșantionare:
 - o secvență de numere (eșantioane)
 - Fiecare valoare are asociată o valoare timp, care reflectă când a fost măsurată
 - Reciproca intervalului de eșantionare ($1/T$) este frecvența de eșantionare (f_s)
 - Dacă T se exprimă în secunde, se exprimă în Hz



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

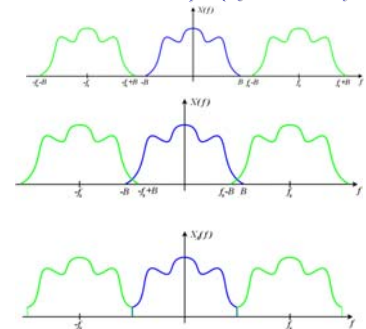
- Semnal care este limitat în timp sau un semnal cu lungime finită → semnalul reconstruit nu va fi exact semnalul original
 - Limitare a benzii (aliasing):
 - o frecvență falsă este generată în momentul eșantionării frecvențelor
 - Condițiile de eșantionare nu sunt satisfăcute
 - Frecvențele obținute prin eșantionare se suprapun
 - Frecvențele mai mari de jumătate din rata de eșantionare vor fi reconstruite și vor apărea ca și frecvențe sub jumătate din valoare ratei de eșantionare



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Aliasing:

- Fără suprapunere
- Eșantionare insuficientă a semnalului albastru – imaginea semnalului



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Aliasing (prevenire sau reducere):

- Creștem rata de eșantionare cu dublu față de frecvențele care produc fenomenul
- Folosirea filtrelor anti-aliasing:
 - Pentru lungimile de undă ale semnalelor care satisfac condițiile eșantionării potrivite
 - Greu de obținut în practică datorită pierderilor prin dispersie pentru lungimile de undă cu frecvență înaltă



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Aplicații:

- Teorema eșantionării se aplică pentru funcții de o singură variabilă
- Teorema poate fi folosită și pentru mai multe variabile:
 - Imaginile în scală gri sunt reprezentate ca matrici bi-dimensionale de numere reale reprezentând intensitatea relativă a pixelului localizat la intersecția rândului cu coloana → două variabile independente pentru caracterizarea fiecărui pixel (una pentru rând și alta pentru coloană)



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Aplicații:

- Imaginile color = compoziție a trei imagini monocrome separate (câte una pentru fiecare culoare primară: roșu, verde, albastru).
- Alta spații de culoare care utilizează trei vectori de culoare sunt: HSV.
- Modelul CMYK (azuriu – magenta – galben – negru): reprezentarea culorilor prin patru dimensiuni.



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Aplicații:

- Dacă rezoluția de eșantionare, sau densitatea pixelilor sunt inadecvate fenomenul de aliasing este evidențiat și în imaginile color.
- De exemplu, o fotografie digitală a unei cămăși în dungi (frecvență mare = distanța dintre dungi este mică) poate determina fenomenul de aliasing (model Moiré – două grid-uri se suprapun la un anumit unghi) când e eșantionată de senzorul (conversie imagine vizuală în semnal electric) camerei digitale.

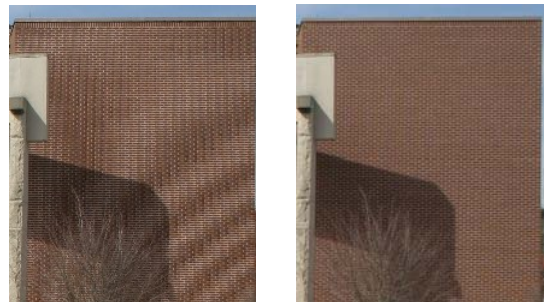


1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)



1. Discretizarea domeniului de definiție (eșantionare)

Model Moiré ← sub+eșantionarea unui pattern regular, fin



2. Discretizarea domeniului în care funcția ia valori

- Cuntizare
 - = aproximarea (rotunjirea) valorilor funcției la un număr finit de valori prestabilite
 - = transformare ireversibilă
 - se realizează cu pierdere de informație



Puterea de separare

- = capacitatea de a percepe ca distincte două puncte aflate de distanța d unul de celălalt, observate de la distanța D
- unghiul de separare (= inversul puterii de separare): $1' \rightarrow 1,5'$ (determinate experimental)
- Numărul maxim de puncte pentru valoarea minimă a unghiului de separare pe
 - Verticală: ~ 1024
 - Orizontală: ~ 1365
 - Numărul maxim de puncte distincte: $1024 \times 1365 = 1397760$



Capacitatea de percepție

- Ochiul uman percepe 256 (nivele) tonuri de gri
- Tot atâtea nivele de strălucire pentru fiecare din cele 3 culori fundamentale $256 \times 256 \times 256 \sim 16,78$ milioane



Convertor analog/digital

- Operațiile de cuantificare și codificare a valorilor semnalului sunt realizate de către un dispozitiv electronic = convertor analog/digital
- Primește la intrare o valoare analogică
- Furnizează la ieșire un număr binar care aproximează valoarea de intrare
- Punctele de imagine obținute în urma eșantionării și cuantizării imaginii originale se numesc pixeli



Pixel

- = elementul unei imagini
- = un punct dintr-o imagine grafică
- = cel mai mic component al unei imagini
- Termen introdus în 1965 de Frederic C. Billingsley
- În realitate nu e nici punct, nici pătrat
- Se vizualizează de cele mai multe ori ca și un punct sau pătrat
- Intensitatea fiecărui pixel este variabilă:
 - Imagini color: fiecare pixel are $\frac{3}{4}$ variabile în funcție de modul de reprezentare al culorilor (roșu – verde – albastru = RGB, azuriu – magenta – galben – negru = CMYK)



Pixel

- trei atribute care se pot exprima digital (numeric):
 - Culoare
 - Opacitate (transparență)
 - Poziție în matrice



Pixel



Pixel

- Poate fi utilizat și ca unitate de măsură (măsurarea rezoluției):
 - 2400 pixeli/inch
 - 640 pixeli/linie
- **dots per inch** (dpi)
- **pixels per inch** (ppi)
- Cu câți sunt mai mulți pixeli cu atât imaginea digitală este mai aproape de real

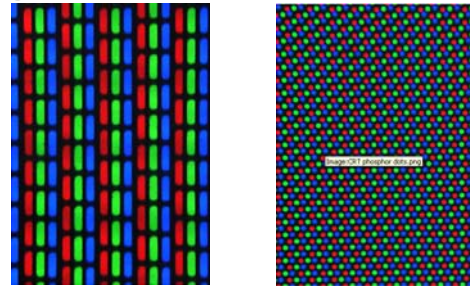


Pixel

- Numărul de pixeli dintr-o imagine e numit uneori rezoluție
 - Rezoluția monitorului: 1024×768, Diagonala: 19", dimensiunea pixelului: 0,377 mm
 - Rezoluția monitorului : 800×600, Diagonala: 17", dimensiunea pixelului: 0,4318 mm
 - Rezoluția monitorului : 640×480, Diagonala: 15", Dimensiunea pixelului : 0,4763 mm



Pixel



21 "

17"



Biți per pixeli

- Numărul de culori distincte care pot fi reprezentate de un pixel depinde de numărul de biți per pixel (bits per pixel = bpp).
 - 8 bpp, 28 = 256 culori
 - 16 bpp, 216 = 65536 culori – High Color
 - 24 bpp, 224 = 16,777,216 culori – True Color
 - 48 bpp: spațiu de culoare continuu



8 bpp



16 bpp



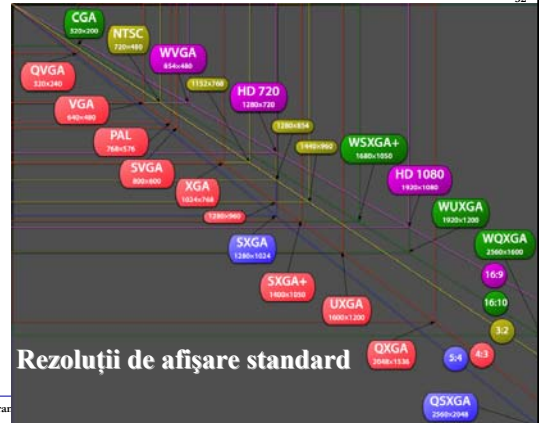
Subpixeli

- Sistemele de achiziție a imaginilor nu sunt capabile să afișeze canale de culori diferite în același timp → paleta de pixeli e divizată într-o singură regiune de culoare.
 - LCD și monitoarele cu plasmă, regiunilor de o singură culoare sunt elemente adresate separat = subpixeli
 - LCD divide orizontal fiecare pixel în subpixeli



Megapixeli

- 1 megapixel = 1 milion pixeli
 - Imagine
 - Camere digitale
 - 2048×1536 senzori = 3,1 mega pixels
 - $2048 \times 1536 = 3,145,728$



Rezoluții de afișare standard

| | |
|---|---|
| QVGA 0.077 Mp = 320×240 | UXGA 1.9 Mp = 1600×1200 |
| VGA 0.3 Mp = 640×480 | WUXGA 2.3 Mp = 1920×1200 |
| SVGA 0.5 Mp = 800×600 | QXGA 3.1 Mp = 2048×1536 |
| XGA 0.8 Mp = 1024×768 | WQXGA 4.1 Mp = 2560×1600 |
| WXGA 1.0 Mp = 1280×800 | QSXGA 5.2 Mp = 2560×2048 |
| SXGA 1.3 Mp = 1280×1024 | WQSXGA 6.6 Mp = 3200×2048 |
| WXGA+ 1.3 Mp = 1440×900 | QUXGA 7.7 Mp = 3200×2400 |
| SXGA+ 1.4 Mp = 1400×1050 | WQUXGA 9.2 Mp = 3840×2400 |
| WSXGA+ 1.7 Mp = 1680×1050 | WUQSXGA 11.3 Mp = 4200×2690 |



Concepte similare

- Voxel = volumul unui element
 - Analiza datelor medicale
 - Reprezentări 3D: $512 \times 512 \times 512$
- Texel = element al texturii
- Surfel = element de suprafață



Ce s-a discutat!

- Digitizarea imaginii de tip analog
- Capacitatea de percepție a ochiului uman
- Pixel/Voxel
- Rezoluția de afișare



Imagini digitale medicale



Imagini digitale medicale

- Tehnica și procesele utilizate în obținerea imaginilor corpului uman
- Scop:
 - Diagnostic (screening):
 - Terapeutic:
 - Radioterapie
 - Radiologie intervențională
 - Cercetare medicală



Imagini digitale medicale

- Imagini:
 - Biologice
 - Radiologice
 - Endoscopice
 - Termografice
 - Microscopice



Radiologie

- Tehnici diagnostice medicale utilizate în scop diagnostic și uneori terapeutic
- Radiații:
 - X (Wilhelm Conrad Röntgen, 1895)
 - Alte tipuri radiații
- Unde electromagnetice



Radio-imagistica medicală

- Tipuri de examinări → Tipuri de imagini:
 - Radiografice
 - Computer tomografie
 - Ultrasonografie
 - Rezonanță magnetică



Radiația X

- Wilhelm Conrad Röntgen:
 - 8 Noiembrie 1895
 - Nobel Prize pentru Fizică: 1901
- Film



Artrografia



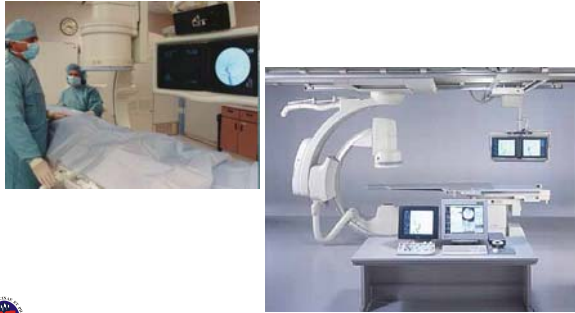
Radiografia umărului înainte de injectarea substanței de contrast



Artrogramele umărului

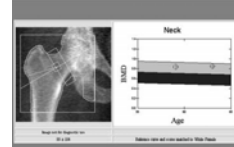


Angiografia



Densitometria osoasă (x-ray absorptiometry ' DXA)

- O doză de radiație X este aplicată la nivelul coloanei vertebrale, șoldului sau încheieturii mâinii. Pe imaginea rezultate se aplică o serie de măsurători pentru a determina densitatea osoasă a pacientului investigat (scorul T) care este comparat cu un scor de referință standard (respectând vârsta și sexul pacientului) pentru a determina riscul de dezvoltare a fracturilor osoase.



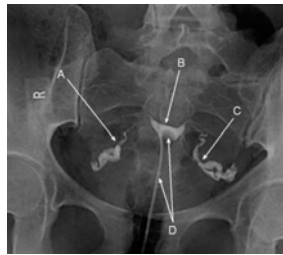
Summary Statistics

| Region | Area (cm ²) | BMD (g/cm ³) | BMD (g/cm ³) | T-Score | FR (Fract. Reference) | Z-Score | Age (Years) | Sex (M/F) |
|--------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-----------------------|---------|-------------|-----------|
| Neck | 3.49 | 1.03 | 0.947 | -0.9 | 100 | 1.4 | 52 | F |
| Spine | 33.22 | 0.94 | 0.797 | -0.9 | 100 | 1.5 | 52 | F |
| Distal | 20.75 | 0.46 | 0.423 | -0.2 | 100 | 1.5 | 52 | F |
| Total | 57.46 | 0.89 | 0.868 | -0.4 | 100 | 1.5 | 52 | F |
| Width | 1.08 | 0.64 | 0.593 | -1.2 | 95 | 0.9 | 52 | F |



Histero-salpingografia

- Substanța de contrast iodată este injectată în uter cu ajutorul unui cateter, cavitatea uterină și a trompelor se opacifiază (A = trompa dreaptă, B = cavitatea uterină, C = trompa stângă, D = cateterul și balonul acestuia)

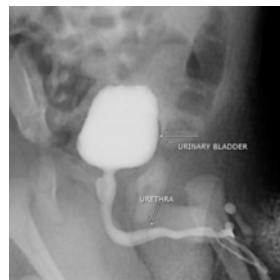


Urografia

- Imagine captată la 5 minute de la injectarea substanței de contrast

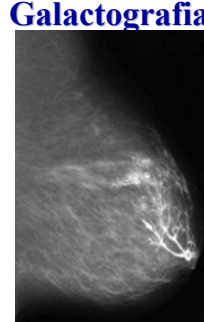
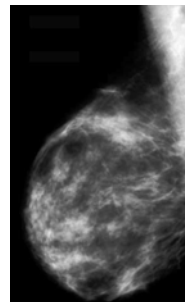


Cistouretrografia



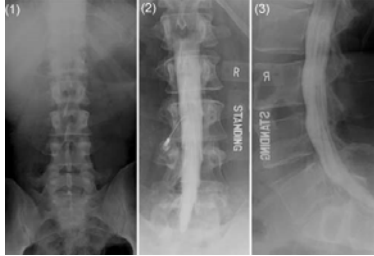
Mamografia

Galactografia



Mielografia

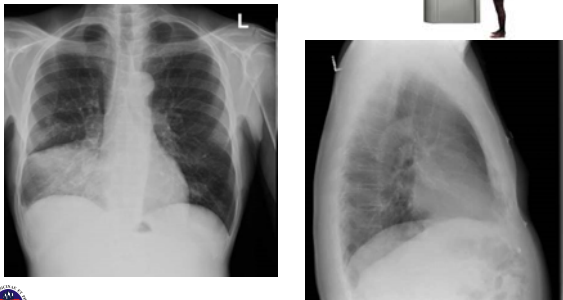
- 1- imagine înainte de injectarea substanței iodate în canalul medular
- 2, 3- imagini după injectare PA și LL



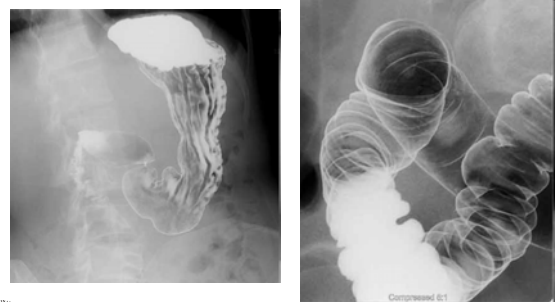
Radiografia sistemului osos



Radiografia pulmonară

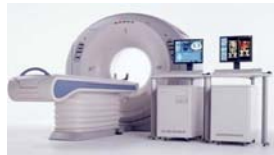


Radiografia tractului digestiv



Computer tomografie

- CT scan / CAT scan
- Tradițional produc imagini 2D
- Utilizează raze X
- Radiații ionizante în doză mare în comparație cu radiografia
- Folosirea frecventă trebuie limitată
- [Film](#)



Identificarea calcifierilor cardiace



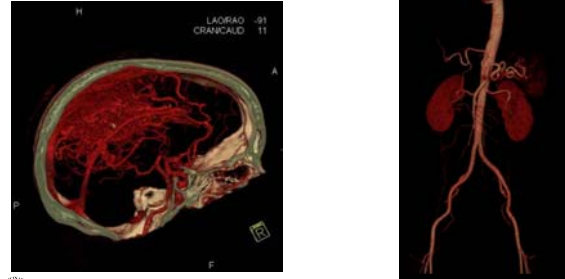
- Stânga: CT arteră coronară normală
- Dreapta: CT arteră coronară calcificată. (A: stern, B: coastă, C: inima, D: calciu în artera coronară)



CT: Abdomen & Pelvis



CT Angiografie (CTA)



CT: Abdomen & Pelvis



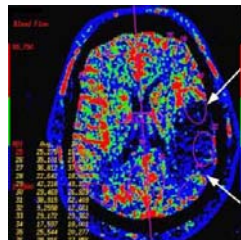
Colonoscopie virtuală CT



CT cap



- Hemoragie recentă (hematom subdural) ce determină împingerea structurilor cerebrale contralateral



- CT de perfuzie la un pacient cu AVC: porțiune a creierului cu flux sanguin sever redus



CT plămân



AngioCT pulmonar

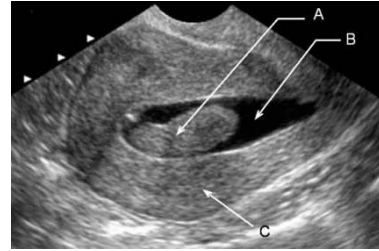


Ultrasonografie

- Ultrasunete cu frecvențe de la 2 la 10 MHz
 - Reflectate de țesuturi în mod diferit în funcție de structura și compoziția acestora
- Imaginea obținută: 2D
- Pune la dispoziția examinatorului mai puține informații anatomice în comparație cu CT, MRI
- Avantaje:
 - Funcționalitate
 - Mișcare a structurilor în timp real
 - Nu există efecte adverse
 - Costul examinării e mic



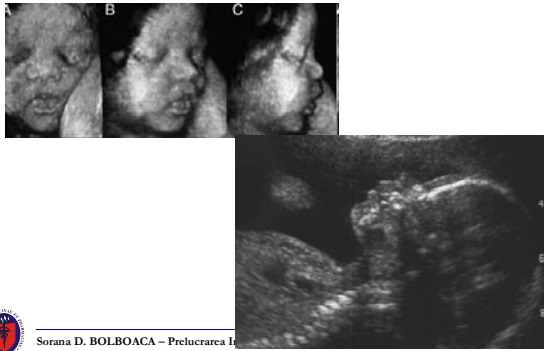
Histerosonografie



- Polip endometrial în cavitatea uterină: A-polip, B-cavitatea uterină, c-peretele muscular al uterului



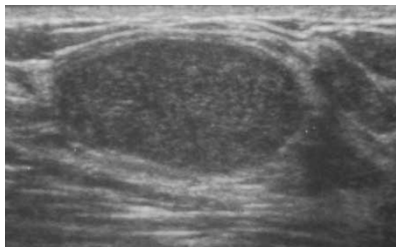
US în obstetrică



US abdominal



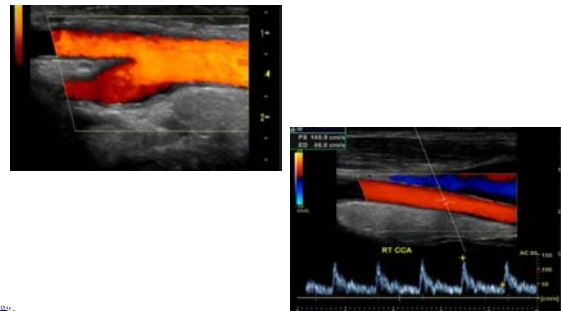
US sân



- Fibroadenom benign (masă solidă mamară cu ecouri interne). US nu are o acuratețe de 100% în diferențierea unui fibroadenom de un cancer mamar, dea ceea biopsia este necesară.



US carotide



US musculo-scheletal



- Ultrasonografie de șold (5 luni, F): a. Mușchiul gluteu, b. Ileon, c. Acetabulum, d. Capul femural (aspect ecografic normal)



Rezonanța magnetică

- Magneți → polarizarea și excitarea nucleilor de hidrogen în moleculele de apă ale țesuturilor umane
- 3 tipuri de câmpuri magnetice:
 - Foarte puternic (tesla): câmp static (polarizarea nucleilor de hidrogen)
 - Mai slab, variabil în timp (1 kHz): câmp de gradient (encodarea spațială)
 - Slab (radio frecvență - RF): manipularea a nucleilor de hidrogen pentru producerea unui semnal măsurabil (colectat cu antena de RF)



Rezonanța magnetică



- Tehnică imagistică tomografică
- Anii 1980
- Imagini 2D
 - Felii subțiri ale organismului
- Blocuri de imagini → 3D

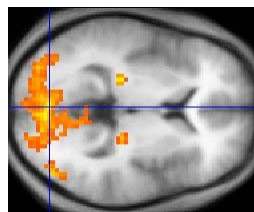
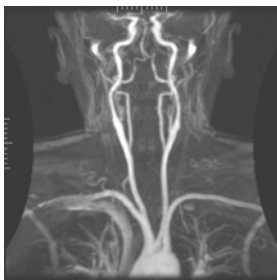


Rezonanța magnetică

- Angiografie
- Biopsie ghidată
- Sân
- Musculo-scheletal
- Cap
- Cardiac
- Coloană
- Etc.



Rezonanță magnetică



fMRI (modificări ale semnalului datorate modificărilor de activitate neuronală)

Angio-MRI



Fluoroscopie/Scopia

- Imagini în timp real a structurilor interne ale organismului
 - Similar cu radiografia
 - Bombardarea cu raze X este constantă
- Substanțe de contrast:
 - Bariul
 - Iod
 - Aer
- Scop:
 - Diagnostic
 - Ghidare a procedurilor imagistice invazive



Medicină nucleară

- Radiații gamma
- Detectarea regiunilor biologic active bolnave
- Izotopi
- ^{131}I (viață scurtă) → absorbție mai mare de către în regiunile bolnave ale organismului (tumori, fracturi)



Medicină nucleară



Tomografie cu emisie de pozitroni

- Patologii cardiace și craniene
- Izotop cu viață scurtă (^{18}F) încorporat în glucoză (absorbție de către celulele de interes – celule tumorale)
- Aparatul folosit la CT
- Investigarea la nivel de biologie moleculară (înaintea de modificarea anatomică)
- Vizualizare + cuantificare



Tomografie cu emisie de pozitroni: Aplicații

- Oncologie (diagnostic, stadializare, monitorizare a tratamentului):
 - Tumori (limfomul Hodgkin, limfomul non Hodgkin, cancerul de plămân)
 - Metastaze
- Neurologie (arii cu radioactivitate ridicată = asociate cu activitate neuronală înaltă)
 - Oxigen-15

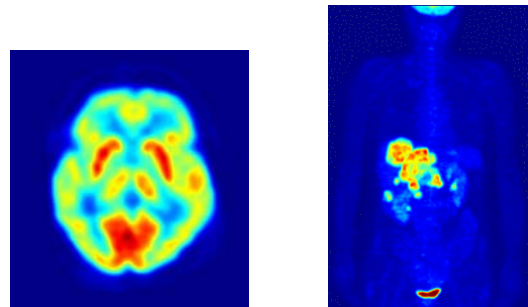


Tomografie cu emisie de pozitroni: Aplicații

- Cardiologie (ateroscleroză): identificarea pacienților cu risc de infarct (miocard hibernant)
- Psihiatrie
- Farmacologie (trialuri preclinice)

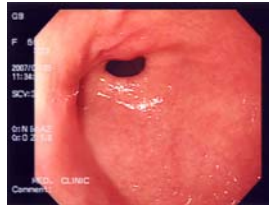


Tomografie cu emisie de pozitroni



Endoscopia

- Procedeu diagnostic minim invaziv utilizat în evaluarea suprafețelor interne ale organelor cavitare
 - Vizualizare
 - Înregistrare
 - Chirurgie minim invazivă



Endoscopia

- Utilizare:
 - Tract gastrointestinal: esofag-stomac-duoden; intestin subțire; colon; duct biliar
 - Tract respirator: nas (rinoscopie), tract respirator inferior (bronhoscopie)

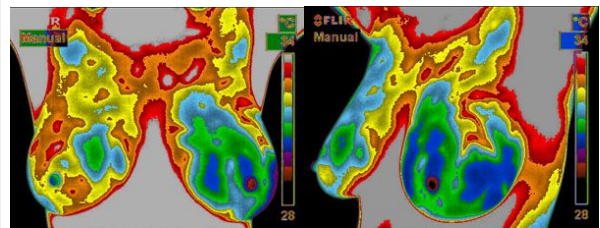


Termografia

- Cameră infrared
- Energie termică – termoreglare – metabolism
- Infrared (lungime de undă electromagnetică invizibilă pentru ochiul uman) → percepută ca și căldură



Termografia



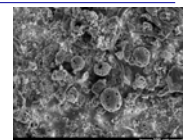
Termografia

- Cameră infrared
- Măsoară temperatura
- Evidențierea diferențelor de temperatură
- Aplicații:
 - Medicină umană
 - Medicină veterinară
 - Identificare a diferențelor de temperatură ale părților corpului



Microscopia electronică

- Microscopul electronic: mărește detalii foarte mici la rezoluții foarte mari (electroni = sursă de iluminare)
 - Puterea de mărire = 2,000,000 ori
- Aplicații:
 - Anatomie patologică
 - Diagnosticul bolilor rinichiului, identificarea sindromului cililor imotili, etc...



Radiologie intervențională

Intervenții arteriale și venoase

- Angioplastie și stent vascular
- Tromboliză directă
- Șunt transjugular intrahepatic



Biopsii

- Sân (US, RM)
- Plămân/perete toracic



Radiologie intervențională

Tratament tumori maligne

- Chemoembolizare
- Crioablație (nitrogen lichid, argon: US, CT, RM)
- Embolizare:
 - Anevrism cranian
 - Embolizare prin cateter (fibrom uterin)

Ablație cu radiofrecvențe:

- Tumori hepatice
- Tumori pulmonare

Varice:

- Ablație endovenoasă (cauterizare)
- Flebectomie (îndepărtare)
- Scleroterapie (injectare soluții care determină sclerozarea vasului)



Radiologie intervențională

Vertebroplastie & cifoplastie

- Fracturi vertebrale prin compresiune
- Crioablație (nitrogen lichid, argon: US, CT, RM)

Embolizare:

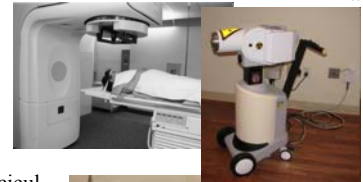
- Anevrism cranian
- Embolizare prin cateter (fibrom uterin)



Radioterapie

± chimioterapie

- Radioterapie cu fascicol extern
- Brahiterapie (fascicul intern)
- Terapie cu protoni
- Chirurgie stereotactică (radioterapie patologie craniană)



De reținut!

Imagini digitale medicale:

- Scop diagnostic
- Scop terapeutic
 - Radioterapie (oncologie)
 - Radiologia intervențională

Informații despre procedurile imagistice:

<http://www.radiologyinfo.org>

