

REVISANDO CONCEITOS BÁSICOS

S.Furui/EPUSP-1

Imagens Médicas: tipos

- Anatômicas x funcionais
 - raio X, RM, US, ..
 - radioisótopos, PET, SPECT, RM
 - Fusão de modalidades
- Estáticas
 - raio X, RM, ..
- Dinâmicas
 - US, RM, ..

S.Furui/EPUSP-2

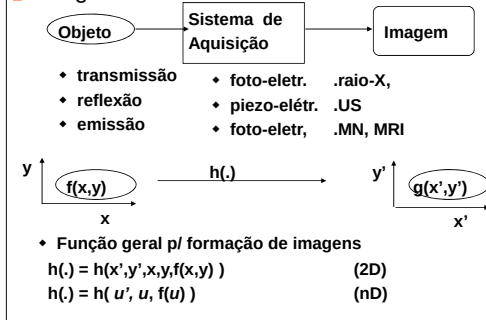
Imagens Médicas: tipos

- Tomográficas
 - CT, SPECT, PET, US, RM, ..
- Tridimensionais
 - CT, SPECT, PET, US, RM
- 3D Dinâmicas
 - spiral CT, gated-SPECT, US, gated-RM

S.Furui/EPUSP-3

Modelo de formação

Imagens Médicas



S.Furui/EPUSP-4

SISTEMAS LINEARES E PSF

S.Furui/EPUSP-5

Sistemas aditivos, lineares

$$\begin{aligned}
 f_1(x,y) &\longrightarrow g_1(x',y') \\
 f_2(x,y) &\longrightarrow g_2(x',y') \\
 \text{■ Sistemas aditivos} \\
 g(x',y') &= \iint h(x',y',x,y, f(x,y)) \cdot dx \cdot dy \\
 \text{■ Sistemas lineares} \\
 a \cdot f_1() + b \cdot f_2() &\longrightarrow a \cdot g_1() + b \cdot g_2() \\
 h(x',y',x,y, f(x,y)) &= h(x',y',x,y) \cdot f(x,y) \\
 g(x',y') &= \iint h(x',y',x,y) \cdot f(x,y) \cdot dx \cdot dy \\
 &\downarrow \\
 \text{PSF : point spread function}
 \end{aligned}$$

S.Furui/EPUSP-6

Sist. lineares: representações

Puntual
Operador
 $g = H f$

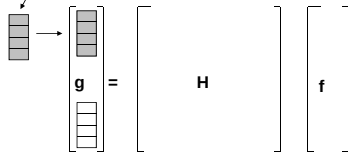
Matricial
 $G = A.F.B$
(separável)

Vetorial
 $g = H \cdot f$

$$g(x', y') = \iint h(x', y', x, y) \cdot f(x, y) \cdot dx \cdot dy$$



$$H = A \otimes B^T$$



S.Furule/EPUSP-7

Notação vetorial

$$G_{N \times N} \longrightarrow g_{N^2 \times 1}$$

$$H_{N^2 \times N^2}$$

$$F_{N \times N} \longrightarrow f_{N^2 \times 1}$$

$$g_i = \sum_j h_{ij} f_j$$

$$g = H \cdot f$$

S.Furule/EPUSP-8

Modelo p/ degradação

Puntual

Cromático

Degradação pelo processo da vizinhança (Blur)

- difração
- movimento
- desfocamento

$$g = H \cdot f$$

$$\sum_i h_{ij} = 1 \quad (\text{Conservação de energia})$$

S.Furule/EPUSP-9

Point spread function (PSF)

Conceito: resposta impulsiva

SVPSF: space variant PSF

$$g(x', y') = \iint h(x', y', x, y) \cdot f(x, y) \cdot dx \cdot dy$$

$$g = H \cdot f$$

SIPSF : space invariant PSF

$$g(x', y') = \iint h(x' - x, y' - y) \cdot f(x, y) \cdot dx \cdot dy$$

$$h(x', y', x, y) = h(x' - x, y' - y)$$

$$g(x', y') = (h * f)(x', y')$$

H: matriz circulante

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v)$$

$h(0)$	0	$h(2)$	$h(1)$
$h(1)$	$h(0)$	0	$h(2)$
$h(2)$	$h(1)$	$h(0)$	0
0	$h(2)$	$h(1)$	$h(0)$

S.Furule/EPUSP-10

RUÍDO

S.Furule/EPUSP-11

Modelo com ruído

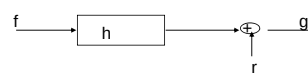
Modelo realístico simplificado

- blur
- ruído
- sistema linear
- Space invariant PSF

$$g = H \cdot f + r$$

$$g(x', y') = \iint h(x' - x, y' - y) \cdot f(x, y) \cdot dx \cdot dy + r(x', y')$$

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + R(u, v)$$



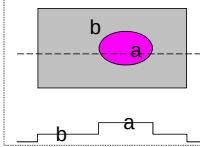
S.Furule/EPUSP-12

COMO MEDIR QUALIDADE EM IMAGENS?

S. Furule/EPUSP-13

Imagens: características

- Contraste
- Contrast to noise ratio (CNR)
- Resolução espacial
- Resolução intens.: 1/256 =>
- Faixa dinâmica [0, 255] =>
- Desafio: compactação de info. p/ apresentar os parâmetros diagnósticos fundam.

$$c = \frac{a - b}{a + b}$$


$$CNR = 20 \log\left(\frac{a - b}{\sigma_N}\right)$$



S. Furule/EPUSP-14

Filtros digitais: SPSF

- Filtragem no domínio do espaço (Convolução)

$$g(x', y') = \iint h(x' - x, y' - y) \cdot f(x, y) \cdot dx \cdot dy$$

$$g(x', y') = (h * f)(x', y')$$

$$g_{ij} = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} h(i-m, j-n) \cdot f(m, n)$$

- Exemplos
- Características do filtro?

- Filtragem no domínio da frequência (DFT)

S. Furule/EPUSP-15

Modalidades

- Raio X
- Ressonância Magnética
- Ultra-som
- Medicina Nuclear
- CT
- Microscopia

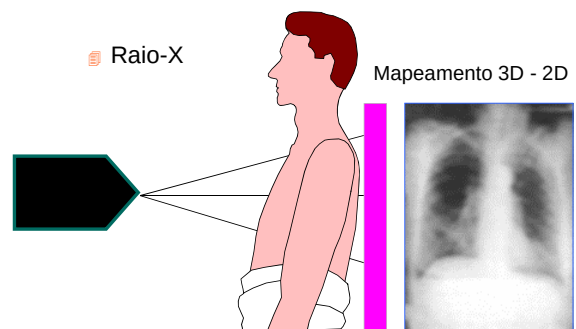
S. Furule/EPUSP-16

RAIO X

S. Furule/EPUSP-17

Modalidades de Imagens Médicas

- Raio-X



S. Furule/EPUSP-18

Raio X

Princípios físicos

- onda eletromagnética (energia 5 a 150 keV)
- atenuação dependente do material
 - absorção: efeito fotoelétrico
 - espalhamento: efeito Compton
- maior energia $\rightarrow$ menor atenuação (contraste)
- ruído: degrada resolução e contraste
 - Poisson
 - Espalhamento
- geração de raio X
 - fonte pontual
 - desaceleração do e^- (bremsstrahlung)
 - esfriamento do anodo



S.Furule/EPUSP-19

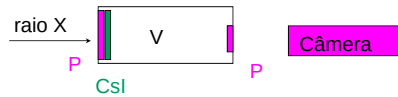
Detecção de Raio X

Filmes combinados com screen

- screen: sensível raio X (P) $\Rightarrow$ luz visível $\Rightarrow$ filme

Fluoroscopia

- intensificador de imagens + câmera
- baixa dose



raio X $\Rightarrow$ luz $\Rightarrow e^- \Rightarrow$ aceleração $\Rightarrow$ luz

descarga (PbO) $\Rightarrow$ scan $e^- \Rightarrow V$

S.Furule/EPUSP-20

Raio X: sist. digitais

Sistemas digitais

- cassete(P) + scanner
- intensificador de imagem + câmera de TV + ADC
- vantagens:
 - PACS: armazenamento, visualização distribuída, acesso
 - pós-processamento, restauração, reconstrução tomográfica, quantificação
 - compressão
 - fusão multimodal e temporal
 - fluoroscopia
 - DSA: redução de 2x na dose de contraste injetada
 - telemedicina
 - ...

S.Furule/EPUSP-21

Raio X: Aplicações

Convencional: projecção

- pulmão, cabeça, ...

Fluoroscopia (80 kW, 70-90 keV)

- angiografia, angioplastia, DAS
- catheter 1 a 3 mm
- 512 x 512, 1k x 1k, 15-30 q/s

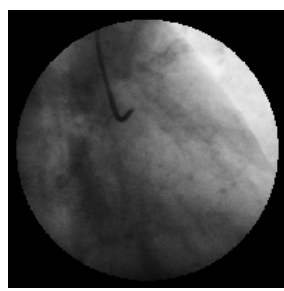
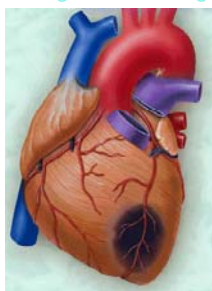
Mamografia (18 a 23 keV)

- alta resolução (50 μ m) (4k x 4k)
- baixa dose

S.Furule/EPUSP-22

Modalidades de Imagens Médicas

Cine-angio-coronariografia

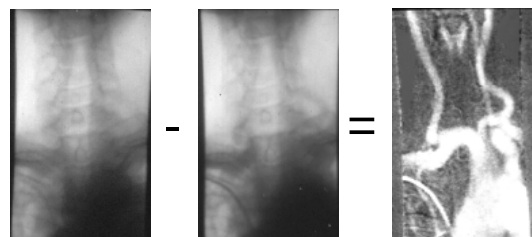


InCor - HCFUMSP

S.Furule/EPUSP-23

Modalidades de Imagens Médicas

DSA - Angiografia Digital Subtrativa



S.Furule/EPUSP-24

CT (TOMOGRAFIA POR RAIO X)

S. Furule/EPUSP -25

Modalidades de Imagens Médicas

Tomografia por Raio-X



S. Furule/EPUSP -26

Raio X: Aplicações (cont.)

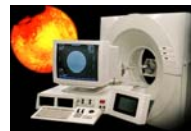
CT (Computed tomography)

- 1971 (Hounsfield)
- Ultra Fast CT => 50ms / slice
- CT => 1 s / slice
- 30 -120 kev

S. Furule/EPUSP -27

Modalidades de Imagens Médicas

Tomografia Computadorizada por Raio-X (CT)

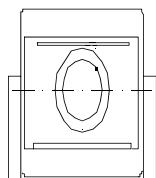
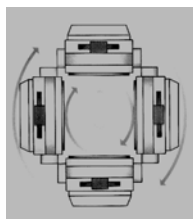


S. Furule/EPUSP -28

Tomografia

Reconstrução tomográfica a partir das projeções

- CT, Spiral CT, fastCT
- SPECT
- PET



S. Furule/EPUSP -29

CT

$$I_0 \text{-----} \text{[Object]} \text{-----} I \text{-----}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\int_0^L \mu(x) \cdot dx}$$

$$\ln \left(\frac{I_0}{I} \right) = \int_0^L \mu(x) \cdot dx$$

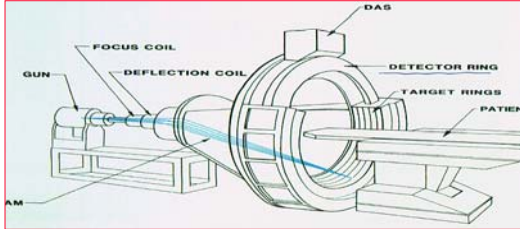
- Informações não invasivas por transmissão
- Amostragem angular e spac.
- Gerações de CT
 - velocidade de aquisição e reconstr.
 - reconstr. volumétrica

S. Furule/EPUSP -30

CT p/ Estruturas dinâmicas

Ultrafast CT

- sem estruturas móveis
- 50 ms/scan (20 cortes/s)
- volume: 8 cm em 0.25 s



S. Furule/EPUSP -31

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

S. Furule/EPUSP -32

Modalidades de Imagens Médicas

Ressonância Magnética



S. Furule/EPUSP -33

Ressonância Magnética

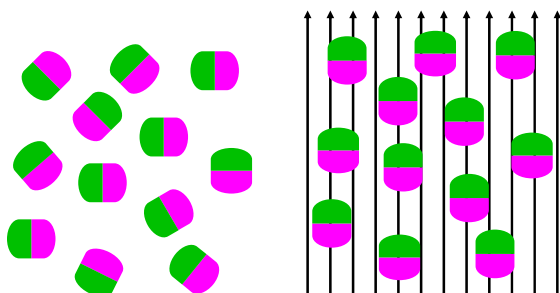
- 1970. Comercial na década de 80
 - elevado investimento e custo operac.
 - não-invasivo, não é bloqueado
- Anatômica e "funcional"
 - cabeça (40%), coluna (30%), ossos e juntas (17%), corpo (10%)
 - diferencial em relação ao raio X
 - fast (EPI): 50 ms / imagem
- Princípios físicos
 - núcleo: num. atômico, peso atômico, spin (momento magnético)
 - átomos com número ímpar de prótons ou peso atômico ímpar. Ex. H
 - orientação através de campo externo (0.2 a 1.5 T) (net orientation)



S. Furule/EPUSP -34

Modalidades de Imagens Médicas

Ressonância Magnética



S. Furule/EPUSP -35

RM: princípios físicos

- precessão na direção z
- frequência de Larmor: dependência com o núcleo e campo externo
- como medir ω ? => excitar via RF perpendicular a B_0
- ressonância => sinal captado proporcional à quantidade de material. Volumétrico



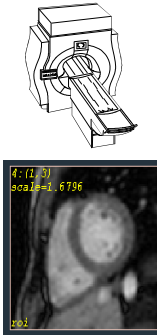
$$\omega = \gamma \cdot B_0$$

S. Furule/EPUSP -36

Ressonância Magnética

Reconstrução tomográfica a partir de transformações

- MRI : informação
 - anatômica
 - funcional
 - perfusão
 - metabolismo (espectrografia)
 - técnicas rápidas (< 1 s/ corte)



S.Furule/EPUSP-37

RM

- Echo planar imaging (EPI)
- T1: spin-lattice relaxation
 - taxa de recuperação (63%) do comp. z
 - transfere energia p/ o redor (não p/ outro spin)
- T2: spin-spin relaxation
 - taxa de decaimento do sinal (37%) transverso
 - transfere energia p/ outro átomo
- Moving spins: MR angiography
- Magnetos supercondutores
 - 1.5T (Terra 0.5 G)
 - 65 km fio, 200A, 4.2K => anos

S.Furule/EPUSP-38

Ressonância Mag.: Aplicações

- tempo: convencional ~min, FSE (fast spin echo) ~20s, gradient-echo ~s, EPI 50 ms
- RM funcional
 - captar sinais diferentes p/ sangue com diferentes características (oxigenação e perfusão)
 - baixa intensidade
- Espectroscopia
 - freq. Larmor depende também do ambiente químico do núcleo=> shift no espectro

S.Furule/EPUSP-39

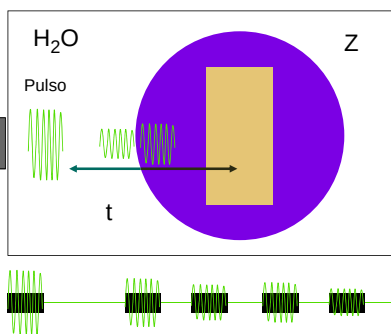
ULTRASSOM

S.Furule/EPUSP-40

Modalidades de Imagens Médicas

Ultra-som:

Eco
Onda mecânica
Envia/Escuta



S.Furule/EPUSP-41

Modalidades de Imagens Médicas

Ultra-som Modo B



S.Furule/EPUSP-42

Modalidades de Imagens Médicas

Ultra-som

Modo B

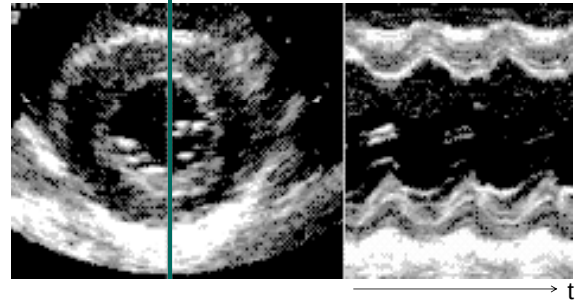
Virtual Body
B&N Software



S. Furule/EPUSP -43

Modalidades de Imagens Médicas

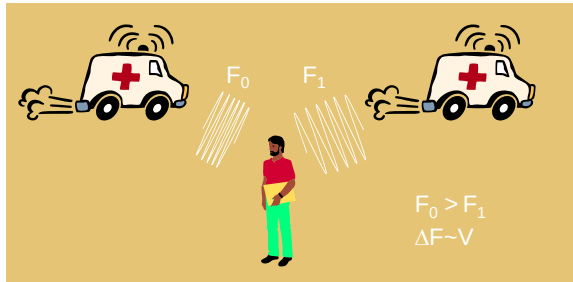
Ultra-som Modo M



S. Furule/EPUSP -44

Modalidades de Imagens Médicas

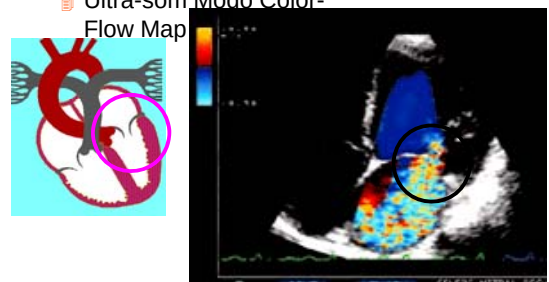
Ultra-som Modo Doppler: Efeito Doppler



S. Furule/EPUSP -45

Modalidades de Imagens Médicas

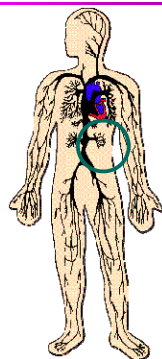
Ultra-som Modo Color-Flow Map



S. Furule/EPUSP -46

Modalidades de Imagens Médicas

Ultra-som Modo Color-Flow Map



S. Furule/EPUSP -47

Ultra-som

Custo/benefício muito bom

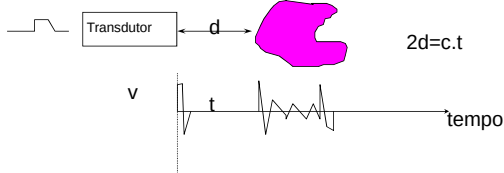
Princípios físicos

- efeito piezo-elétrico: mecânica $\Leftrightarrow$ elétr.
- espalhamento dentro das estruturas
- resolução espacial $\sim 1 \lambda = 1.5 \text{ mm}$ (@1MHz)
- $c = \sim 1500 \text{ m/s}$ (média no corpo)
- 20 - 50MHz p/ intra-arterial
- 100-200MHz p/ microscopia celular

S. Furule/EPUSP -48

Ultra-som: modo A

modo A



S. Furule/EPUSP -49

Ultra-som: aplicações

Estudo de estruturas dinâmicas em uma determinada posição.

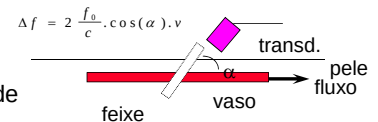
- válvulas cardíacas no modo M

Cortes tomográficos 2D

- cardíaca
- fetal
- abdominal, ...

Fluxo e velocidade

- efeito Doppler



S. Furule/EPUSP -50

Ruído speckle

- Ruído devido a interferência de ondas (efeito de superposição de ondas, efeito destrutivo)
- Ruído correlacionado com o sinal, aproximadamente multiplicativo
- Aproximadamente distribuição de Rayleigh (partículas da mesma ordem que o comprimento de onda)

$$g(x) \approx f(x) + \sqrt{f(x)} \cdot N(0,1)$$

se homogêneo, $f(x) = cte$

$$E[g] = f$$

$$\text{var}[g] = f$$

S. Furule/EPUSP -51

MEDICINA NUCLEAR

S. Furule/EPUSP -52

Medicina Nuclear

Características

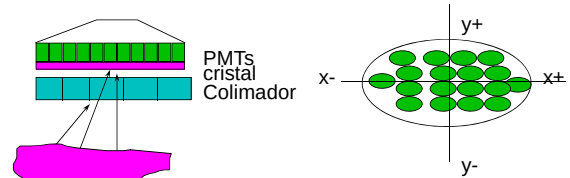
- torna visível processos e estruturas pequenas sem interferência
- marcação de fármacos com pequeníssima quantidade de material instável
- traceja metabolismo => funcional e perfusão
- resolução em torno de 8mm

Princípios Físicos

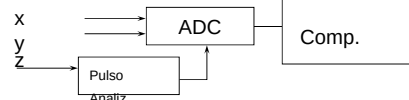
- fóton único - átomos instáveis (radioisótopos). Liberação de radiação (alfa, beta, gama, x). (imaging > 50keV)
- pósitron - liberação de pósitron, com aniquilamento com geração de duplo fótons em direções opostas
- deteção: cintilador (cristal NaI) => fóton multiplicador => contador.

S. Furule/EPUSP -53

Medicina Nuclear



- Codificação eletrônica da posição (x, y)
- 1 fóton de cada vez.



S. Furule/EPUSP -54

MN: degradação

- Ruído estatístico: Poisson
 - perda de contraste
- Field of view: resposta impulsiva dependente de posição
- Atenuação
 - pode induzir a erros de interpret.
 - correção nas imagens tomogr.
- Espalhamento
 - ruído, perda de contraste, perda de resolução
- Dead time $\sim 2\mu s$
 - perda de sensibilidade, erro de espalhamento

S. Furule/EPUSP -55

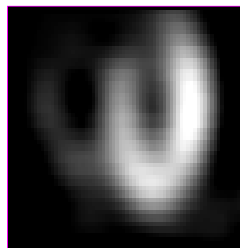
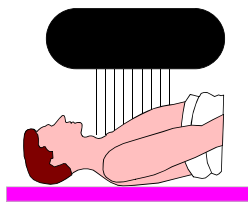
Medicina Nuclear: Aplicações

- Imagens cintilográficas planares
 - tireóide, corpo inteiro
- Imagens dinâmicas planares
 - função renal, gated blood pool
- SPECT
 - tomografia cerebral, perfusão do miocárdio
- gated-SPECT
 - função ventricular
 - dinâmica
- PET
 - metabolismo cerebral

S. Furule/EPUSP -56

Modalidades de Imagens Médicas

- Medicina Nuclear:
 - SPECT



Miocárdio marcado com material radioativo (Tc)

S. Furule/EPUSP -57

Rec. Tomogr. em MN

- Reconst. tomográfica por Emissão de fóton único - SPECT
- PET
- Radio-fármacos
- Metabolismo, perfusão
- Não segue a transformada de Radon
- Degradações fortes devidas a: atenuação, espalhamento, ruído

S. Furule/EPUSP -58

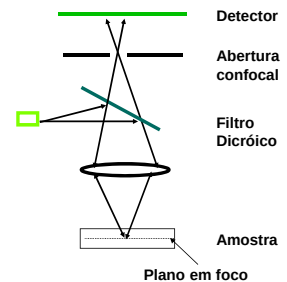
Rec. Tomogr. em MN (cont.)

- Equipamentos
 - Uma gama câmera SPECT
 - Dupla gama câmera SPECT
 - transmissão e emissão
 - SPECT - PET : MCD
 - PET 2D, 3D

S. Furule/EPUSP -59

Microscopia confocal

- Direta
 - Digitalizador 3D ótico (laser) : 0.5 mm resol.
 - microscópio confocal
 - laser, foco ótico
 - material translucente
 - Ultra-som
 - órgãos
 - vasos (IVUS)



S. Furule/EPUSP -60

PACS



- Contempla todas as Modalidades
- Worklist
- Armazenamento Seguro
- Gerência de ocupação dos discos (Online, NearLine, OffiLine)
- Gravação de DVD para backup
- Administração Simples pela WEB
- Integração com HIS
- Controle de acesso às informações
- Gravação de CD's p/ distribuição

